



**Mauro Daniel Simões  
São Bento Martins**

**Sistemas de Aproveitamento da Energia do Mar**

Dissertação apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Daniel Borges Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim  
professor associado da Universidade de Aveiro

arguente

Prof.<sup>a</sup> Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

orientador

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

O presente trabalho resulta da conjugação de diversos apoios e incentivos dados ao autor, que desta forma, pretende expressar o seu agradecimento e reconhecimento a todos os que contribuíram para a elaboração da dissertação. Ao professor Carlos Coelho, que além de se mostrar sempre disponível na orientação científica do trabalho, demonstrou também enorme empenho, compreensão e amizade. Em alguns momentos, graças ao seu incentivo, obstáculos foram ultrapassados.

À Engenheira Teresa Pontes do Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação, pela disponibilidade online de documentos relacionados com o tema, permitindo que o trabalho progredisse.

Aos professores António Falcão e António Sarmento do Departamento de Mecânica do Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, que facultaram informação importante para o desenrolar da dissertação.

A todos os familiares que diariamente contribuíram com toda a paciência e a compreensão, em especial, aos meus pais e irmão.

Muito Obrigado

## **palavras-chave**

Energia Renovável, Energia dos Mares, Energia das Ondas, Dispositivo, Viabilidade, Potência

## **resumo**

Face às necessidades energéticas que a população mundial atravessa e à necessidade de reduzir os níveis de poluição, neste trabalho pretendeu-se fazer um ponto de situação dos conhecimentos e potencialidades dos sistemas de aproveitamento da energia do mar.

Para isso, foram abordados os diferentes sistemas de aproveitamento da energia dos mares, sendo identificada a energia das marés, a que resulta da diferença térmica e a das ondas. Para estes sistemas são referidas algumas características técnicas como, localização, funcionamento, potência, dimensões, etc. Particularizando o estudo para os sistemas de aproveitamento da energia das ondas e numa perspectiva de focar o caso Português, é depois abordado o tema da energia das ondas em Portugal, referindo-se qual o enquadramento político e legal, potencial energético, os impactos energéticos e sócio-económicos e os casos de aplicação já existentes.

Conhecendo as características de cada dispositivo, foi possível indicar as condicionantes resultantes da implementação dos dispositivos, destacando os conflitos de uso e os impactos ambientais. Apresentando vantagens e desvantagens de cada dispositivo e comparando os dispositivos numa análise matricial, optou-se por três destes, considerados os mais vantajosos ou adequados, sendo pormenorizado o seu estudo nos capítulos seguintes.

Visando a parte económica dos sistemas, no capítulo 5 foi feito um estudo económico das opções, onde se refere a identificação e a avaliação de custos, a viabilidade económica e o potencial de produção por altura de onda. Sendo um dos objectivos deste trabalho, tentar avaliar o melhor dispositivo a implementar na zona de Aveiro, no capítulo 6 foi feita uma análise das características hidrográficas e batimétricas, para eventuais zonas de implementação e correspondente potencial energético. No final deste capítulo foram referidos algumas características do dimensionamento das opções, visando a estrutura, fixação/fundação, impactos no transporte sedimentar e sistemas de transporte de energia.

Por último, são apresentadas as considerações finais, incluindo conclusões e desenvolvimentos futuros. Portugal possui um grande potencial de energia das ondas por explorar e seguindo a experiência adquirida até agora, poderá desenvolver novas zonas piloto, aumentando o potencial de produção e reduzindo os custos de implementação (tecnologia madura).

**keywords**

Renewable Energy, Energy of the Sea, Wave Energy, Device, Sustainability, Power

**abstract**

Due to needs of energy by the world population and needs of reducing the level of pollution, in this work was intended to increase the knowledge, about the energy of the sea. Different systems of exploitation the sea energy, were referred being identified the energy of the tides, the energy that results of the thermal difference and the waves energy. For these systems some technical characteristics as, localization, operation, potency, dimensions, etc are referred specific study of sea wave energy and it perspective to the Portuguese case, were analysed, referring political and legal, condition energy potential, energy impacts and the cases already existent. Knowing the characteristics of each device was possible to indicate the condicionantes of the implementation of the devices, detaching the conflict of use and the environmental impacts. Presenting advantages and disadvantages of each device and comparing the devices in matricial analysis, allow the of three systems, considered adequate, being detailing their study in the following chapters. Chapter 5 present a economic study of the options, where identification and evaluation of costs, the economical feasibility and the potential of output by height of wave is referred. Being one of the objectives of this work, try to identify a device to implement it in the zone of Aveiro, in the chapter 6 was done an evaluation of the hydrography and bathymetry for eventual zones of implementation. Finally, final considerations are presented, including conclusions and future developments. Portugal has a big potential of energy of the waves by explore and following the experience acquired so far, will be able to develop news pilot zones, increasing the potential of output and reducing the costs of implementation (mature technology).

**Índice Geral**

	Agradecimentos	
	Resumo	
	Abstract	
	Índice Geral	i
	Índice de figuras	v
	Índice de tabelas	vii
<b>1.</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objectivos	2
1.3.	Conteúdo	3
<b>2.</b>	<b>Sistemas de aproveitamento da energia dos mares</b>	<b>5</b>
2.1.	Energia das marés	5
2.1.1.	Nível da superfície livre	5
2.1.2.	Correntes de marés	7
2.1.2.1.	Stingray	8
2.1.2.2.	Enermar	9
2.1.2.3.	Seaflow e Seagen	9
2.1.2.4.	Lunar Energy	10
2.2.	Diferença térmica	11
2.3.	Energia das ondas	12

2.3.1.	Tipo de sistemas	13
2.3.2.	Descrição dos sistemas	14
2.3.2.1.	Coluna Oscilante de Água - CAO	14
2.3.2.2.	Atenuador - Pelamis	16
2.3.2.3.	Galgamento - WaveDragon	18
2.3.2.4.	Ponto absorvente - AquaBuoy	19
2.3.2.5.	Diferença de pressão submersa - AWS	20
2.3.2.6.	Conversor oscilante da onda - WaveRoller	22
<b>3.</b>	<b>Energia das ondas em Portugal</b>	<b>25</b>
3.1.	Enquadramento político e legal	25
3.2.	Potencial energético	27
3.2.1.	Impacto energético	27
3.2.2.	Impacto sócio-económico	28
3.3.	Casos existentes	29
<b>4.</b>	<b>Condicionantes na aplicação de sistemas de energia das ondas</b>	<b>33</b>
4.1.	Conflitos de usos	33
4.2.	Impactes ambientais	34
4.3.	Vantagens e desvantagens dos diversos sistemas	36
4.3.1.	Coluna de Água Oscilante	36
4.3.2.	WaveDragon	37

---

4.3.3.	Pelamis	38
4.3.4.	AWS	39
4.3.5.	AquaBuoy	39
4.3.6.	WaveRoller	39
4.4.	Análise matricial das opções	40
<b>5.</b>	<b>Estudo económico</b>	<b>45</b>
5.1.	Identificação e avaliação de custos	45
5.2.	Viabilidade económica	50
5.3.	Potencial de produção por altura de onda	54
<b>6.</b>	<b>Implementação de um dispositivo na zona de Aveiro</b>	<b>59</b>
6.1.	Características hidrográficas	59
6.2.	Características batimétricas	60
6.3.	Zonas de implementação	62
6.4.	Potencial energético	62
6.5.	Dimensionamento do dispositivo	65
6.5.1.	Estrutura	65
6.5.2.	Fixação/Fundação	69
6.5.3.	Impacto no transporte sedimentar	72
6.5.4.	Sistema de transporte da energia	73



<b>7.</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>75</b>
7.1.	Conclusões	75
7.2.	Desenvolvimentos futuros	77
	Referências bibliográficas	79

## Índice de figuras

### Capítulo 1

Figura 1	Energia capturada em diferentes sistemas fontes naturais por unidade de sistema (Fraenkel, 2003)	1
----------	--	---

### Capítulo 2

Figura 2	SeaGen	9
Figura 3	Estrutura da turbina de Venturi (Lunar Energy, 2007)	11
Figura 4	Distribuição da capacidade energética das ondas (GCC, 2007)	13
Figura 5	Sistema coluna de água oscilante	15
Figura 6	Sistema atenuador, Pelamis	17
Figura 7	Sistema de galgamento, WaveDragon	19
Figura 8	Sistema de ponto absorvente, AquaBuoy	20
Figura 9	Sistema de diferença de pressão submersa, AWS	21
Figura 10	Sistema conversor oscilante da onda, WaveRoller	23

### Capítulo 3

Figura 11	CAO implementado na Ilha do Pico em 1999 (WEC, 2006)	29
Figura 12	Parque de ondas na Aguçadoura (PWP, 2008)	30
Figura 13	Dispositivo piloto AWS, antes da submersão (Prado <i>et al.</i> , 2006)	31
Figura 14	Dispositivo WaveRoller em Peniche (SmartPlanet, 2008)	31

## **Capítulo 4**

Figura 15	Diferentes usos na zona costeira do noroeste Português	35
-----------	--	----

## **Capítulo 5**

Figura 16	Distribuição percentual do custo de capital	51
Figura 17	Custos de investimento e produção por energia produzida	52
Figura 18	Custos de investimento e produção por potência produzida	54
Figura 19	Relação potência/altura de onda para o dispositivo CAO	55
Figura 20	Relação potência/altura de onda para o dispositivo Pelamis	56
Figura 21	Relação potência/altura de onda para o dispositivo AWS	56

## **Capítulo 6**

Figura 22	Locais de possível implementação de dispositivos na costa Noroeste Portuguesa	61
Figura 23	Possíveis zonas piloto de implementação dos dispositivos Pelamis, AWS e CAO	63
Figura 24	Disposição esquemática dos dispositivos no mar e relação das acções a que estão sujeitos	66
Figura 25	Cargas exercidas no dispositivo CAO	67
Figura 26	Cargas exercidas no dispositivo Pelamis	68
Figura 27	Cargas exercidas no dispositivo AWS	68
Figura 28	Sistemas de amarração	70
Figura 29	Sistema de ancoragem vertical (tendões)	71

Figura 30	Sistemas de fixação do dispositivo Pelamis	72
	(Cruz e Sarmiento, 2004)	

**Índice de tabelas****Capítulo 1**

Tabela 1	Centrais hidroeléctricas de grande potência, em funcionamento (Mendonça, 2006; Chaineux e Charlier, 2007; Taylor, 2008)	6
----------	--	---

**Capítulo 3**

Tabela 2	Zonas de possível implementação de dispositivos <i>offshore</i>	26
----------	---	----

**Capítulo 4**

Tabela 3	Vantagens e desvantagens dos diversos sistemas	40
----------	--	----

**Capítulo 5**

Tabela 4	Casos referentes ao dispositivo CAO	46
Tabela 5	Casos referentes ao dispositivo Pelamis	47
Tabela 6	Casos referentes ao AWS	48
Tabela 7	Relações médias Potência/Área/Investimento dos diferentes dispositivos	50
Tabela 8	Previsões de factores de carga para um dispositivo genérico (Soerensen, 2009)	53
Tabela 9	Previsões de custo de produção por energia produzida (Soerensen, 2009)	53
Tabela 10	Previsões de custo de capital por potência produzida (Soerensen, 2009)	54

## **Capítulo 6**

Tabela 11	Alturas e período de onda, num ano típico de agitação (Coelho, 2005)	60
Tabela 12	Potencial energético de um dispositivo CAO para um ano típico de agitação em Aveiro	64
Tabela 13	Potencial energético de um dispositivo Pelamis para um ano típico de agitação em Aveiro	64
Tabela 14	Potencial energético de um dispositivo AWS para um ano típico de agitação em Aveiro	65

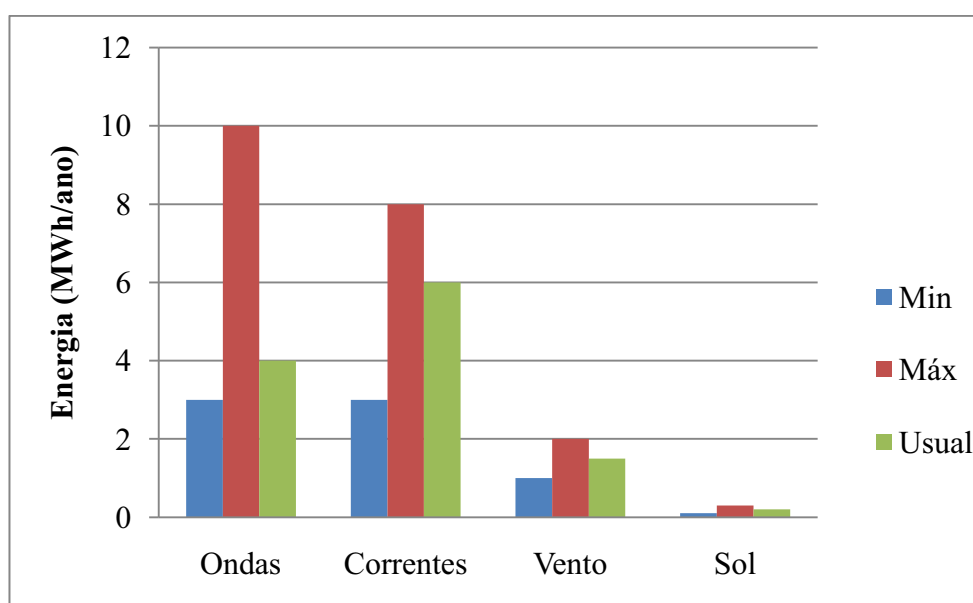
## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

Com a maior consciencialização sobre os problemas ecológicos da degradação do meio ambiente, e o facto de mais tarde ou mais cedo, as fontes convencionais de energia (energias não renováveis) se esgotarem, as energias não poluentes e renováveis têm vindo a assumir um papel cada vez maior na política energética dos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento (SRED, 2008).

Para resolver os problemas ambientais e energéticos que o planeta atravessa, um dos maiores desafios é procurar por um lado, aplicar medidas que combatam os níveis de poluição e por outro explorar novas formas de energia (renovável e limpa).

Existem várias formas de energia renovável, mais ou menos viáveis, com mais ou menos impactos ambientais. Podem-se enumerar a energia solar directa, a eólica, a geotérmica, a biomassa, a hídrica e a oceânica (SRED, 2008). Na figura 1 apresenta-se alguns valores que representam estimativas de energia capturada, por diferentes formas de aproveitamento, para cada unidade de sistema.



**Figura 1** – Energia capturada em diferentes fontes naturais por unidade de sistema (Fraenkel, 2003)

Sendo a superfície do planeta Terra, constituída maioritariamente por água (oceanos, mares, rios, lagos), este recurso representa uma enorme fonte de energia, devendo ser desenvolvidos meios que possibilitem o aproveitamento desta forma de energia (renovável).

Os oceanos albergam um potencial energético enorme, que pode contribuir de forma significativa para as necessidades crescentes de energia a um nível global (Cruz e Sarmiento, 2004). No entanto, esta forma de energia ainda se encontra em fase de desenvolvimento, requer elevados investimentos, e nem sempre com total garantia de sucesso. Existem basicamente quatro potenciais formas de produzir energia eléctrica a partir dos oceanos. Através da ondulação marítima, aproveitando o desnível periódico devido às marés, utilizando a diferença de temperaturas existente entre a superfície e o fundo do mar e através da salinidade. Destaca-se a energia das marés e a energia das ondas pelo seu maior potencial de utilização.

As marés resultam da combinação de forças gravitacionais do sol e da lua e do movimento de rotação da Terra, o que leva à subida e descida dos níveis de água dos oceanos e dos mares. Já as ondas são formadas pelo atrito do vento com a superfície oceânica, gerando energia cinética, que pode ser usada para a produção de energia eléctrica (ADENE e AREAC, 2005).

O Conselho Mundial da Energia estima que as centrais eléctricas das ondas e das marés poderão rapidamente fornecer quinze por cento da potência mundial necessária. Especialistas vêem as costas de Inglaterra, Espanha, Portugal, Irlanda e Noruega como as localizações mais adequadas da Europa. Eles encaram a Escócia como o maior potencial, onde até 2020 cerca de quarenta por cento das necessidades energéticas da Escócia poderão ser cobertas com energia proveniente do oceano (Continental, 2007).

## **1.2. Objectivos**

Sendo o aproveitamento da energia dos mares uma tecnologia relativamente recente e numa altura em que as energias renováveis representam um papel essencial (quer energético, quer político e quer social) a nível mundial, este tema suscita interesse redobrado. Desta forma, um dos objectivos deste trabalho foi aprofundar os conhecimentos sobre sistemas de aproveitamento da energia do mar. Tendo como base dispositivos já instalados ou em fase de projecto, pretende-se apontar vantagens e



desvantagens de cada um dos sistemas, analisar a viabilidade económica de possíveis dispositivos a implementar e analisar os impactos ambientais, energéticos, sócio-económicos resultantes dessa implementação, por forma, a tentar avaliar um ou mais sistemas, que se enquadrassem na zona de Aveiro. Depois de analisados os dispositivos que melhor se adequam à zona de Aveiro, apresentam-se bases e princípios a considerar para dimensionar a estrutura desses dispositivos, a sua fixação/fundação, o transporte da energia e a possível influência no transporte sedimentar.

### **1.3. Conteúdo**

Numa primeira fase do trabalho, realizou-se o levantamento de dados relativos aos diversos sistemas de aproveitamento da energia do mar, nomeadamente a energia das ondas, a energia das marés e a energia resultante da diferença de temperaturas entre o fundo e a superfície das massas de água. Após o levantamento, foi realizada uma pré-selecção dos dispositivos, por avaliação do nível de potência captada, informação disponível relativa ao funcionamento, vantagens e viabilidade de instalação.

No capítulo 2, são apresentadas as características dos diferentes sistemas e das diferentes formas de aproveitamento. Da análise dos diferentes sistemas, deparou-se com a escassa informação relativa ao aproveitamento da energia das marés e da diferença de temperatura, ou com a melhor informação relativa a energia das ondas, pelo que o estudo foi direccionado para o aproveitamento da energia das ondas.

No capítulo 3 é analisada a situação da energia das ondas em Portugal, referindo o potencial energético da zona costeira Portuguesa, o impacto energético na produção nacional de energia, o impacto sócio-económico, enquadramento político e legal e casos já existentes (CAO na Ilha do Pico, Pelamis e AWS ambos na Póvoa de Varzim).

No capítulo 4, é feito um estudo dos impactes e condicionantes resultantes deste tipo de energia renovável, descrevendo-se potenciais impactes, conflitos de usos, vantagens e desvantagens dos diversos sistemas e fazendo por último uma análise matricial das opções existentes. Da análise matricial efectuada, optou-se por três dispositivos (CAO, Pelamis e AWS), realizando no capítulo 5, um estudo económico das opções. Nesse estudo económico são analisados os três dispositivos em particular, dos quais se pretendeu adquirir o máximo de informação possível, relativa a investimentos, potência

instalada e área de implementação, para que, relacionando os dados pesquisados, se pudesse obter alguma conclusão quanto à viabilidade de cada dispositivo.

No capítulo 6, é desenvolvido um estudo para a implementação de um dispositivo na zona de Aveiro, referindo-se as características hidrográficas e batimétricas do local e algumas questões relacionadas com o próprio dimensionamento do dispositivo. Por fim, são apresentadas as considerações finais, constituídas pelas conclusões do trabalho desenvolvido e pelos potenciais desenvolvimentos futuros (capítulo 7).

## **2. Sistemas de aproveitamento da energia dos mares**

A maior parte dos sistemas de pequena dimensão (mini-hídricas, eólicas, ondas marítimas, marés, solar, etc.) destinados a produzir electricidade, apresentam um problema de inconstância no tempo. Mesmo nos períodos de produção, a variação do nível de potência disponível varia muito, em curtos intervalos de tempo. Este aspecto levanta o problema do armazenamento, disponibilidade e qualidade da energia produzida.

As mini-hídricas são semelhantes às marés, na medida em que a disponibilidade de energia é previsível (sazonalmente no caso das mini-hídricas e pelo ciclo das marés, no caso destas) e praticamente constante durante grandes períodos de tempo. Já a energia das ondas e a eólica são caracterizadas por variarem de forma aleatória no tempo. Isto coloca um sério problema ao sistema gerador que tem de se adaptar a estas fortes variações de forma a gerar electricidade com uma qualidade aceitável (SRED, 2008).

De seguida faz-se uma breve descrição dos tipos de sistemas de energia que se podem retirar dos mares e oceanos.

### **2.1. Energia das marés**

A energia das marés pode ser capturada de duas maneiras, através da variação do nível da superfície livre e aproveitando as correntes de maré. Nos subcapítulos seguintes são apresentados exemplos de estruturas e dispositivos que aproveitam esta energia.

#### **2.1.1. Nível da superfície livre**

O aproveitamento energético das marés pode ser obtido através de um reservatório formado junto ao mar (construção de uma barragem), integrando uma turbina e um gerador. Quando a maré sobe, a água enche o reservatório, passando através de uma turbina que está acoplada a um gerador, produzindo energia eléctrica. Na maré baixa o reservatório esvazia, passando a água novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento. Desta forma, o aproveitamento energético das marés é

obtido de modo semelhante ao aproveitamento hidroeléctrico (ADENE e AREAC, 2005; Wikipédia, 2007).

A versão moderna de um moinho de maré consiste numa barragem construída ao longo de um estuário, em que é acumulada água numa albufeira. Quando se quer produzir electricidade, abrem-se comportas por onde a água escoar por acção da força da gravidade. A energia potencial contida nas águas paradas de uma albufeira transforma-se em energia cinética, devido à velocidade que a água adquire durante a queda. A produção de energia eléctrica é conseguida através da transformação da energia cinética da água em energia cinética de rotação da turbina hidráulica e esta energia mecânica da turbina, em energia eléctrica.

Um exemplo de uma central de sucesso ainda em funcionamento é La Rance, construído em França nos anos 60, com 240 MW de potência (Mendonça, 2006; Taylor, 2008). Rússia, Canadá e China são os únicos países que seguiram o modelo de La Rance e outros utilizaram versões modificadas, tudo em pequena escala (Chaineux e Charlier, 2007). Na Tabela 1, são apresentados estes exemplos de centrais hidroeléctricas de grande potência, em funcionamento em diferentes locais.

Na Coreia do Sul está a ser construída a maior barragem do mundo em energia das marés, no Lago de Sihwa, 25 km a sudoeste de Seul. Com conclusão prevista para o próximo ano, este sistema terá uma capacidade de 254 MW, potência suficiente para abastecer a vizinha cidade de Ansan. Algumas estimativas apontam para 1 milhão de GWh por ano, de energia das marés no mundo ou cerca de 5 por cento da electricidade gerada no mundo, embora apenas uma fracção desta é susceptível de ser explorada, devido a constrangimentos práticos (Palmer, 2008).

**Tabela 1** – Centrais hidroeléctricas de grande potência, em funcionamento  
(Mendonça, 2006; Chaineux e Charlier, 2007; Taylor, 2008)

País	Local	Potência instalada (MW)	Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Nível médio (m)
França	La Rance	240	22	8.6
Rússia	Kislaysa Guba	0.4	1.1	2.3
Canadá	Annapolis	18	15	6.4
China	Jiangxia	3.9	1.4	5.1

A produção anual de potência de uma central convencional pode ser calculada em função de factores geofísicos e hidráulicos, como a área efectiva de bacia e flutuações de maré, entre outros. A disponibilidade anual deste recurso depende da quantidade de água disponível para turbinar, sendo factores determinantes a pluviosidade, o regime de funcionamento e de elaboração (com ou sem bacia) e a bacia hidrográfica (Mendonça, 2006). Este tipo de sistema apresenta alguns constrangimentos, tais como investimento de capitais muito elevados, período de instalação muito longo, normalmente 10 anos até estar totalmente operacional, ocupação de grandes áreas de terreno, limitação dos aspectos positivos das cheias (fertilização natural dos solos agrícolas) e modificação dos ecossistemas a elas ligados, impedindo o fluxo natural dos sedimentos para as zonas costeiras, tendo como consequência o agravamento da erosão costeira e afectando negativamente a fauna e a flora aquáticas existentes a montante e a jusante da barragem (Mendonça, 2006; Wikipédia, 2007).

### **2.1.2. Correntes de marés**

As correntes marítimas, essencialmente as que são devidas à acção das marés, têm vindo a despertar interesse crescente na Europa (protótipos financiados pela Comissão Europeia), em especial no Reino Unido e Itália, particularmente quando atingem velocidades relativamente elevadas (até cerca de 2 m/s em média), em zonas confinadas (em grande parte dos casos estreitos formados por ilhas). Em Portugal, o recurso potencialmente utilizável é relativamente pequeno, já que apenas em estuários ocorrem velocidades minimamente interessantes (Pedro, 2005). Condições ideais para o aproveitamento do fluxo de correntes de marés obrigam a velocidade de correntes entre 2.25-2.5 m/s, e profundidades entre os 30-40 m (ENR, 2007; Douglas *et al.*, 2008).

Os dispositivos das correntes de marés extraem a energia do fluxo diurno das mesmas e ao contrário do vento e da potência da onda, o comportamento das correntes de marés é previsível (Feller, 2003; Holzman, 2007; Jeffries, 2008). No entanto, a tecnologia tem semelhanças com a das turbinas eólicas.

A tecnologia mais frequentemente considerada para a exploração das correntes de maré utiliza uma turbina, instalada perpendicularmente ao escoamento, que pode fixar-se no leito do mar ou estar suspensa numa plataforma flutuante (Mendonça, 2006).

As turbinas de maré são projectadas para explorar uma maior capacidade energética, mas com velocidades mais baixas do que as turbinas eólicas. No entanto, a água possui uma densidade muito maior (cerca de 835 vezes a densidade do ar), permitindo que o tamanho das turbinas de maré seja inferior às de vento. A tecnologia usada nas correntes de maré não apresenta custos e impactos ambientais tão elevados como a tecnologia utilizada na energia das marés (barragens) (Feller, 2003; Ehrenman, 2003; Mendonça, 2006; ENR, 2007; Palmer, 2008).

Para aproveitar a energia das correntes marinhas, a tecnologia utilizada divide-se em dois grupos principais, correspondente a turbinas de eixo horizontal, com conceito equivalente ao das turbinas de vento e turbinas de eixo vertical (por exemplo a turbina Darrieus, com três ou quatro lâminas) (Mendonça, 2006). De seguida descrevem-se alguns destes sistemas.

#### **2.1.2.1. Stingray**

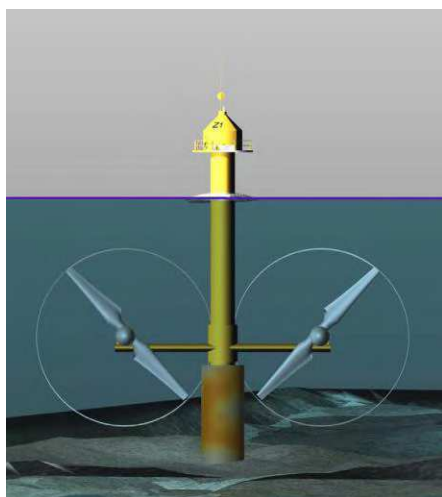
Ao contrário da maioria das tecnologias de aproveitamento da energia das correntes de maré, o gerador Stingray utiliza o movimento de oscilação das correntes, em vez do movimento de rotação. A sua estrutura, semelhante a uma asa de hidroplano associada a um braço oscilante, funciona segundo um mecanismo simples: a corrente de maré passa através do hidroplano, induzindo forças de impulsão na sua asa, causando a sua elevação. A asa possui a capacidade de modificar o seu ângulo relativamente à corrente de maré, através de cilindros hidráulicos, de modo a manter um ângulo de recepção óptimo com a passagem da corrente de maré. A elevação do hidroplano, e consequentemente do braço de apoio, desenvolve pressão através de cilindros hidráulicos, gerando electricidade. Quando o hidroplano, e respectivo braço, atingem o seu limite superior, o ângulo do hidroplano é invertido, o braço desce, e o ciclo é repetido. O Stingray tem uma altura máxima (na posição mais elevada do hidroplano) de 23.6 m, uma largura de 15.5 m e o comprimento do braço é de cerca de 11 m. O ângulo de operação do braço é de aproximadamente 35 graus, e o ângulo de acção do hidroplano é próximo de 90 graus. Tem uma potência de 150 kW para uma velocidade de maré de 3 m/s. Este sistema foi instalado à escala real, em Setembro de 2002, em Yell Sound, Ilhas Shetland, projectado para produzir potências na ordem dos 150 kW (Mendonça, 2006).

### 2.1.2.2. Enermar

O projecto Enermar foi desenvolvido para explorar energia renovável, obtida através das marés, com a turbina Kobold. O sistema Kobold é uma turbina de eixo vertical capaz de converter a energia cinética, contida nas correntes de maré, em energia mecânica, possuindo um sistema que possibilita que a turbina entre em rotação sem necessidade de equipamentos acessórios. O projecto Enermar utilizou um protótipo da turbina com três pares de braços radiais, cada um com uma lâmina de 6 m de diâmetro e um gerador eléctrico, ambos instalados numa plataforma flutuante, de 10.5 m de diâmetro e 2.5 m de altura, no Estreito de Messina, na Sicília, Itália (Mendonça, 2006).

### 2.1.2.3. Seaflow e SeaGen

O sistema Seaflow utiliza um rotor de eixo horizontal (11 m de diâmetro), diferindo do protótipo Enermar, desenvolvido no Estreito de Messina, que utiliza o sistema *cross-flow*, em turbinas de três lâminas montadas sobre uma plataforma flutuante cilíndrica (Wavenet, 2003).



a) Esquema representativo  
(Fraenkel, 2003)



b) Turbina instalada em Strangford Lough,  
Irlanda do Norte (em montagem)  
(Stevenson, 2008)

**Figura 2 – SeaGen**

O Seaflow foi a primeira turbina de correntes de maré no mundo a ser usada, em mar aberto, a 1.1 km ao largo da costa. Tem a capacidade de 300 kW, de potência (Fraenkel, 2003; Wikipedia, 2007; Douglas *et al.*, 2008). As turbinas de correntes de marés têm um ganho por metro quadrado quatro vezes superior ao das turbinas usadas para captar a energia do vento.

Em Abril de 2008, no Lago de Strangford, Narrows, na Irlanda do Norte, foi instalado o Seagen (Figura 2), que corresponde à primeira turbina comercial. Este segue o design da Seaflow, apresenta dois rotores e uma capacidade de 1.2 MW (Fraenkel, 2003; Reidy, 2007; Jeffries, 2008; Douglas *et al.*, 2008).

O sistema SeaGen tem sido comparado a um moinho de vento subaquático. As pás dos rotores podem funcionar nos dois sentidos, permitindo-lhes assim obter um melhor rendimento (Reidy, 2007; Jeffries, 2008).

Outros sistemas de aproveitamento da energia das correntes de maré, foram instalados pela empresa Hammerfest Strom As. A primeira turbina de corrente de maré ligada à rede eléctrica, com uma potência de 300 kW, foi instalada em Setembro de 2003, em Kval Sound, no norte da Noruega. A empresa Verdant Power instalou turbinas de fluxo axial, em Março de 2006, no East River, NY, junto à Ilha Roosevelt, com uma capacidade de cerca de 10 MW (Mendonça, 2006).

#### **2.1.2.4. Lunar Energy**

A companhia Lunar Energy Limited, formada em 2001, desenvolve em cooperação com a empresa Rotech Engineering Limited, o estudo de aplicação da turbina de maré Rotech. O princípio de funcionamento consiste na captura de uma massa de água através de uma conduta de Venturi bidireccional. A massa de água é acelerada pela passagem no canal, accionando uma bomba hidráulica e um gerador que se encontram no módulo central. A conduta de Venturi, para além de funcionar como protecção para as lâminas da turbina, acelera o fluido que passa pela turbina, aumentando a energia que pode ser capturada pelas lâminas e evitando grandes oscilações no tamanho e custos associados à manufactura, operação e manutenção (Figura 3).

O escoamento quando proveniente de um ângulo de mais ou menos 40 graus relativamente ao eixo da turbina possibilita um aproveitamento de energia com perdas



quase nulas. A energia produzida é transportada para terra através de cabos convencionais (Mendonça, 2006).



**Figura 3** – Estrutura da turbina de Venturi (Lunar Energy, 2007)

A segunda fase deste estudo, consistiu na instalação de um protótipo de 1 MW de energia, no European Marine Energy Centre, em Orkney, Escócia, testado em 2006 (Mendonça, 2006).

Em Março de 2008, a Lunar Energia, assinou um negócio para construir um grupo de 300 turbinas ao largo da costa da Coreia do Sul - o maior do seu género ainda proposto (Palmer, 2008).

## **2.2. Diferença térmica**

Para o aproveitamento da energia dos oceanos, recorrendo à diferença térmica entre a água à superfície e no fundo, foram identificados dois sistemas Conversores da Energia Térmica dos Oceanos (CETO), que são o sistema de ciclo fechado e o sistema de ciclo hídrico. Ambos os sistemas utilizam a diferença térmica natural das diferentes camadas dos oceanos, apesar dos líquidos utilizados nos dois sistemas serem diferentes. O sistema de ciclo fechado usa um líquido de baixo ponto de ebulição (por exemplo o amoníaco), enquanto o sistema de ciclo hídrico usa a água da superfície do mar. Desde que a diferença de temperatura entre a superfície tépida e o fundo frio, seja superior a

20 °C, os sistemas CETO podem produzir quantidades significativas de energia (Mendonça, 2006; ENR, 2007; Nihous, 2007; Moore e Martin, 2007).

### **2.3. Energia das ondas**

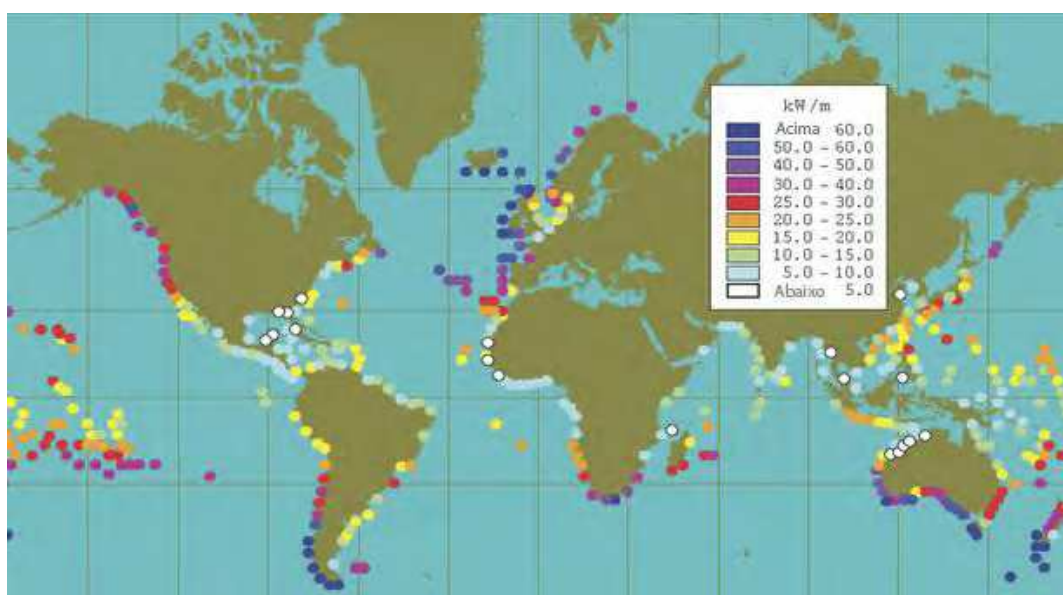
Através de fenómenos de pressão e fricção exercida pelo vento sobre a água dos oceanos, as partículas de água adquirem movimentos circulares/elípticos, que a grande escala origina o que se denomina por ondas (Aguiar, 2008).

Uma vez criadas, as ondas podem viajar milhares de quilómetros no alto mar praticamente sem perdas de energia. Em regiões costeiras a densidade de energia presente nas ondas diminui devido à interacção com o fundo do mar (Cruz e Sarmento, 2004). Assim, a força das ondas varia consideravelmente em diferentes partes do mundo, e nem sempre em toda a parte, pode ser aproveitada eficazmente (Figura 4). As áreas que apresentam grande energia das ondas são por exemplo: Costa Ocidental da Escócia, Norte do Canadá, Sul de África, Austrália e a Costa Noroeste dos Estados Unidos da América (OCS, 2008).

A ideia de converter a energia das ondas noutra forma de energia não é nova (1ª técnica patenteada data de 1799 - Girard & Son, França). No entanto, a intensa investigação e desenvolvimento da conversão da energia das ondas começou depois da dramática subida dos preços do petróleo, em 1973. Diversos países com condições de exploração deste recurso começaram a “olhar” para a energia das ondas como uma possível fonte de energia e como tal, introduziram medidas e programas de apoio nesse âmbito. Importantes programas de investigação com apoio governamental e privado começaram a surgir, principalmente na Dinamarca, Irlanda, Noruega, Portugal, Suécia e no Reino Unido, desenvolvendo tecnologias de conversão industrial de energia das ondas a curto e a médio prazo. A extracção de energia do mar é uma tarefa difícil e inúmeras experiências realizadas por todo o mundo têm demonstrado isso (Américo, 2008).

Segundo a Associação Europeia da Energia Oceânica, o recurso global das ondas é estimado em cerca de 110 TW de potência, no entanto relativamente a dados de 2004, a potência gerada foi inferior a 4 TW (Cruz e Sarmento, 2004, Jeffries, 2008). Em termos de energia, a Associação Europeia da Energia Oceânica, refere que as tecnologias em fase de grande desenvolvimento, poderão explorar economicamente um recurso estimado entre 140 e 750 TWh por ano (tecnologia madura). Segundo dados concretos,

obtidos pela mesma associação referentes a 2004, a energia global gerada foi de cerca de 16.60 TWh (Jeffries, 2008; Letcher, 2008; Palmer, 2008, Soerensen, 2009).



**Figura 4** – Distribuição da capacidade energética das ondas (GCC, 2007)

### 2.3.1 Tipos de sistemas

Ao longo das últimas décadas, têm sido desenvolvidos diversos dispositivos de aproveitamento da energia das ondas do mar. Por circunstâncias económicas, ausência de conhecimento ou rentabilidade, esses dispositivos encontram-se actualmente em níveis diferentes de desenvolvimento. Uma das formas de distinguir estes dispositivos é referindo a sua localização em relação à costa. Desta forma, podem-se enumerar três tipos de dispositivos, os que se encontram instalados na costa (*onshore*) e denominados “dispositivos de 1ª geração”, os implementados perto da costa (*nearshore*), de “2ª geração” e por último, os dispositivos ao largo da costa (*offshore*), de “3ª geração” (WEC, 2004).

Os dispositivos *onshore* foram os primeiros a ser desenvolvidos, pois requerem uma tecnologia mais simples, um acesso de manutenção facilitado, não apresentam condicionantes relacionados com o transporte da energia através de cabos eléctricos submersos e não necessitam de sistemas de amarração. Por outro lado, a avaliação do espaço de implementação do dispositivo apresenta limitações associadas a requisitos de

profundidade de água e boa exposição. Por se encontrarem implementados na costa, estes dispositivos apresentam impactos ambientais (essencialmente visuais) e o seu recurso energético é mais reduzido, em relação ao largo, devido à dissipação da energia das ondas. Dos dispositivos costeiros, o que mais se destaca é o dispositivo (Coluna de Água Oscilante), sendo este, de todos os dispositivos de aproveitamento da energia do mar desenvolvidos até a actualidade, o mais investigado e que apresenta melhores valores de rentabilidade, numa relação potência/custo (WEC, 2004; Pontes *et al.*, 2005). A experiência adquirida com o desenvolvimento e construção dos dispositivos de “1ª geração” serviu de “rampa de lançamento” ao desenvolvimento dos de “2ª e 3ª geração”. Os dispositivos implementados ao largo da costa localizam-se a profundidades superiores a 40 m, onde exploram melhor o recurso energético das ondas, apresentando menores restrições quanto à sua localização e menores impactos visuais. Estes dispositivos são completamente submersos, caso do AWS (Archimedes Wave Swing), ou apresentam reduzidas elevações acima do nível da superfície do mar, caso do Pelamis, WaveDragon, AquaBuoy, entre outros. Os dispositivos de 2ª e 3ª geração apresentam algumas barreiras, tais como, dificuldades na sua manutenção, no transporte para terra da energia extraída e na sua ancoragem no fundo. Por exemplo, para além das barreiras já apresentadas, o principal ponto fraco do sistema WaveDragon é possuir um único ponto de amarração, pelo que a perda desse ponto levará o dispositivo à deriva (WEC, 2004).

### **2.3.2. Descrição dos sistemas**

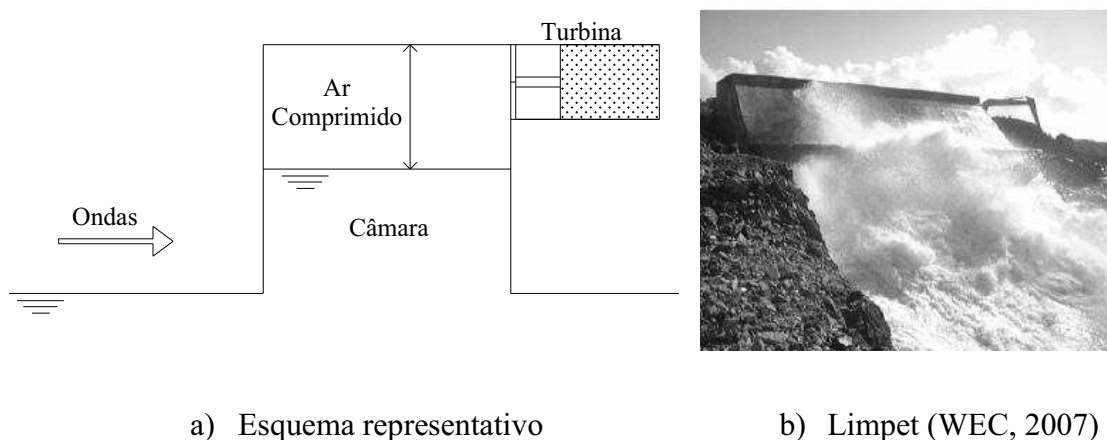
Nos subcapítulos seguintes será abordada uma descrição de cada dispositivo, onde se referem algumas características genéricas, tais como, a localização adequada, o potencial de produção de energia, a forma de funcionamento e respectivas limitações.

#### **2.3.2.1. Coluna de Água Oscilante – CAO**

O sistema de coluna de água oscilante (CAO) é o tipo de sistema mais bem sucedido (Pedro, 2008). A coluna de água oscilante pode ser composta por uma estrutura fixa

*onshore* ou por uma estrutura flutuante *nearshore*. A estrutura fixa encontra-se parcialmente submersa e apresenta uma abertura abaixo da superfície livre do mar.

O movimento das ondas no exterior da estrutura, faz erguer uma coluna de água por uma câmara, subindo e descendo (como um “pistão”), consoante o movimento da onda, empurrando por sua vez o ar comprimido que se encontra acima da coluna de água (Figura 5). O ar ao ser expulso faz girar uma turbina, gerando energia (Wavenet, 2003; OCS, 2008). A turbina pode ser direccional, sendo neste caso necessário recorrer a válvulas para fazer a rectificação do ar, de modo a que a turbina rode sempre no mesmo sentido, quer a onda se aproxime, quer a onda se afaste (SRED, 2008).



**Figura 5** – Sistema coluna de água oscilante

Vários protótipos CAO foram construídos sobre as praias da Noruega, China, Espanha, Islay, na Escócia (Limpet) e Portugal (Ilha do Pico). No porto de Sakata, noroeste do Japão e em Trivandrum, Índia o sistema foi incorporado num quebramar. Tem sido estudado também a aplicação deste sistema no novo quebramar da Foz do Douro, no Porto (Falcão, 2005). Está prevista a construção de um dispositivo no Porto Kembla, na Austrália (40 m de largura) (Wavenet, 2003; Pontes *et al.*, 2005). Os dispositivos CAO apresentam um potencial de produção, com uma gama de valores entre os 400 e os 600 kW, necessitando de uma profundidade à entrada da onda de cerca de 6 a 8 metros. As dimensões da câmara podem variar numa gama entre os 12x12 m<sup>2</sup> a 20x20 m<sup>2</sup>.

Como por exemplo, refere-se o Limpet (Land Installation Marine Powered Energy Transformer), um conversor de energia localizado no litoral da ilha de Islay, ao largo da costa ocidental da Escócia. O dispositivo actual, o Limpet 500, foi instalada em 2000 e produz energia para a rede nacional. Este dispositivo apresenta uma profundidade à

entrada de sete metros, uma intensidade de onda de cerca de 15 a 25 kW/m e uma potência de 500 kW (Wavenet, 2003; Pontes *et al.*, 2005).

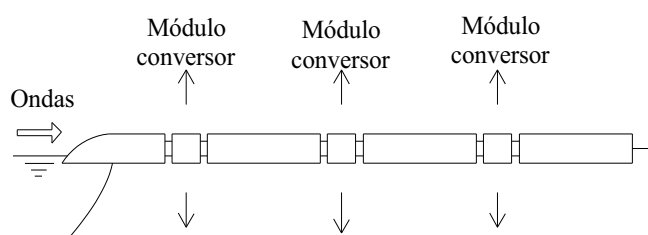
#### **2.3.2.2. Atenuador – Pelamis**

Atenuadoras são estruturas flutuantes instaladas *offshore*, constituídas por longos multi-segmentos interligados. A diferença de altura das ondas ao longo do comprimento da estrutura causa flexão nas ligações dos segmentos, e activa umas bombas hidráulicas ou outros conversores (OCS, 2008).

Um exemplo de um atenuador é o conversor de energia das ondas Pelamis P-750. Este sistema representa o resultado de um programa detalhado de testes e modelação conduzido pela Pelamis Wave Power, Ltd (anteriormente conhecida como Ocean Power Delivery, Ltd). O Pelamis é uma estrutura semi-submersa, composta por secções cilíndricas, unidas por juntas articuladas onde se encontra um módulo de conversão de energia. Os movimentos induzidos pelas ondas são absorvidos por cilindros hidráulicos, que pressionam óleo. Dada a natureza do recurso (elevada energia), existem uns acumuladores que suavizam o circuito, até ao accionamento dos geradores eléctricos que produzem a electricidade. A energia convertida em cada uma das juntas é transferida à rede eléctrica através de um único cabo, podendo vários dispositivos partilhar a mesma ligação. A configuração das juntas permite o ajuste da resposta da máquina, induzindo um comportamento ressonante que maximiza a captura de energia em estados de mar moderados. O controlo dessa configuração permite a maximização da captura de energia para os regimes menos poderosos e a garantia de sobrevivência da máquina nos regimes mais energéticos. As amarrações compreendem um sistema de bóias e pesos que previnem a tensão excessiva nos cabos enquanto mantêm a máquina em posição (Leung, 2005; ENR, 2007; PWP, 2008). Uma das componentes importantes do Pelamis é o seu sistema de fixação ao fundo do mar, que dadas as características do dispositivo, assume uma relevância fundamental (Cruz e Sarmento, 2004).

Uma das características chave do Pelamis é a capacidade de resistir e de não precisar de uma excessiva manutenção. Todos os conversores de energia das ondas fazem uso das forças hidrostáticas em climas de ondas moderados (impulsão versus peso ou pressão hidrostática). No entanto, em climas extremos (ex: tempestades) são as forças hidrodinâmicas que dominam (inércia, resistência, etc.) e neste caso, nem todos os

dispositivos estão desenhados para estas condições. O Pelamis foi concebido para instalações numa gama de profundidades de 50-70 m (dependendo das regiões, estas encontram-se a 5-10 km da costa) onde os climas de ondas de águas profundas (mais poderosos) podem ser aproveitados, o que lhe confere flexibilidade adicional. O Pelamis pode ser controlado para se adequar ao estado do mar, otimizando a captura de energia (PWP, 2008).



a) Esquema representativo



b) Pelamis (Holzman, 2007)

**Figura 6** – Sistema atenuador, Pelamis

Por outro lado, este sistema está limitado a uma potência de cerca de 750 kW, que geralmente corresponde a alturas de onda de 5.5 m. Assim, para alturas de onda superiores, o dispositivo não consegue aproveitar a potência ao máximo.

Este dispositivo, apresenta um comprimento de 150 m, diâmetro de 3.5 m, peso deslocado de 700 ton (incluindo balastro) e 3 módulos independentes de conversores de energia com uma potência de 750 kW (Figura 6). Um parque de 30 MW consiste em 40 máquinas que ocupam uma área de 1 km<sup>2</sup>, fornecendo energia para 20 mil casas (Cruz e Sarmiento, 2004; PWP, 2008). Um dispositivo Pelamis, colocado num local onde a intensidade média das ondas é de 55 kW/m, poderá produzir por ano um total de energia de cerca de  $2.2 \times 10^6$  kWh (Rodrigues, 2008).

O primeiro dispositivo Pelamis de grande escala foi testado em Orkney, ao largo das Ilhas Escocesas (Holzman, 2007; Jeffries, 2008; Palmer, 2008).

### 2.3.2.3. Galgamento – WaveDragon

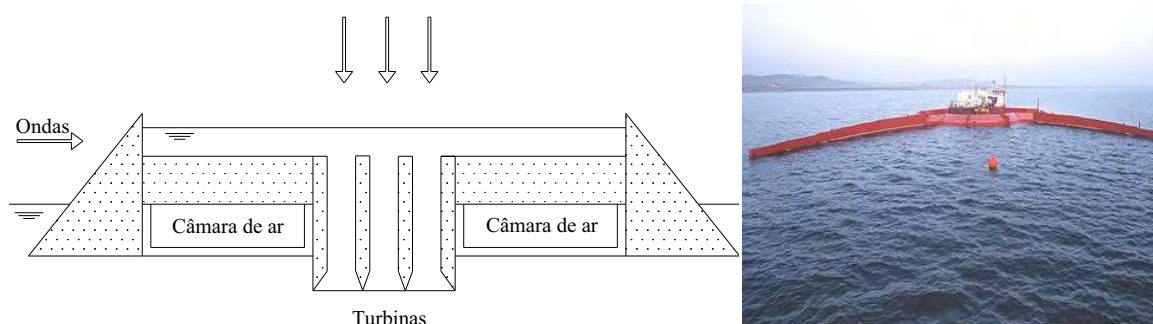
Os dispositivos de galgamento (*overtopping*) são instalados em zonas *offshore* e constituídos por reservatórios, que quando sujeitos a ondas com alturas superiores ao topo do reservatório são enchidos. Existindo um desnível entre a superfície da água no reservatório e no oceano, a água é então libertada e a gravidade faz com que volte para o oceano. A energia da queda da água é usada para girar turbinas hidráulicas.

Como exemplo, podem referir-se alguns dos locais onde foi utilizado este sistema. Nos anos 80, foi instalado na Suécia o dispositivo Sea Power. Mais recentemente, na Dinamarca, em 2003, foi instalado um protótipo do sistema denominado WaveDragon a uma escala 1:4.5. Já em 2005, o mesmo sistema foi implementado no País de Gales, mas à escala 1:1 (Kofoed *et al.*, 2005; Pontes *et al.*, 2005).

WaveDragon é uma tecnologia de geração de electricidade a grande escala, inventada por Erik Friis-Madsen e que tem sido desenvolvida com apoio financeiro da União Europeia (WaveDragon, 2008). O WaveDragon pode ser considerado como um navio “atracado” em águas profundas, ou seja, entre os 25 e 40 m, de preferência, a fim de aproveitar as ondas do mar, antes que elas percam a energia (atinjam a zona costeira). É um dispositivo flutuante que utiliza o potencial energético da água, através da diferença potencial da superfície do reservatório e da superfície do oceano (WaveDragon, 2005; Palmer, 2008). O dispositivo WaveDragon funciona através de dois reflectores que concentram as ondas para uma rampa, onde estas galgam o dispositivo. A água em excesso é descarregada (de volta ao oceano) através de um número de turbinas e desta forma transformada em energia eléctrica (Figura 7). Os conversores de energia das ondas muitas vezes fazem uso de qualquer movimento mecânico ou pressão hidrostática, mas o WaveDragon não possui qualquer conversão, utilizando directamente a energia da água, sendo as turbinas a sua única peça móvel (Cruz e Sarmiento, 2004; WaveDragon, 2005; Leung, 2005).

Esta estrutura é constituída por câmaras-de-ar, onde um sistema de ar faz com que se possa regular a altura da estrutura, em função da altura das ondas. Fisicamente, há uma relação complexa entre a altura das ondas, a geometria da rampa e os reflectores da onda (WaveDragon, 2005; Palmer, 2008).





a) Esquema Representativo

b) Foto (WEC, 2004)

**Figura 7** – Sistema de galgamento, WaveDragon

O protótipo à escala 1:4.5, lançado em Junho de 2003, foi o primeiro sistema *offshore* (conversor de energia das ondas) ligado em rede. Localizada ao largo da costa da Dinamarca, em Nissum Bredning (20 km), esta unidade tem acumulado experiência, fornecendo electricidade a lares domésticos. Nesta fase inicial de laboração e testes, este dispositivo apresenta uma potência produzida de cerca de 20 kW (Cruz e Sarmiento, 2004; Pontes *et al.*, 2005; WaveDragon, 2008).

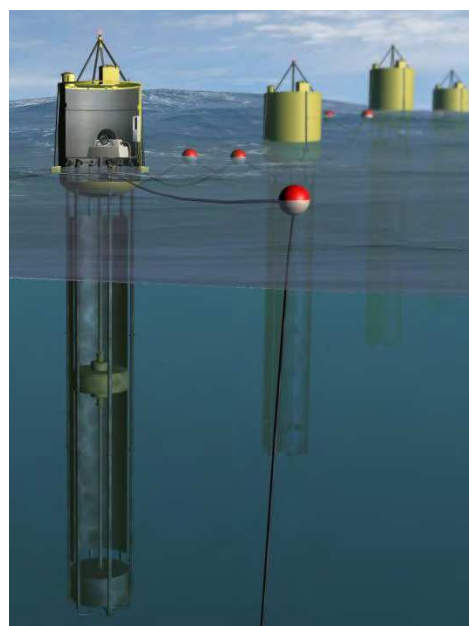
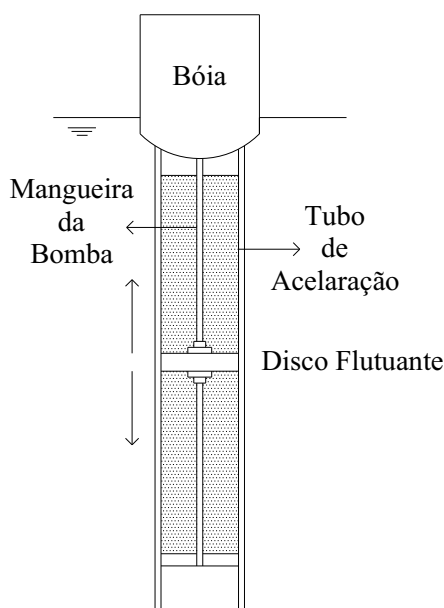
#### 2.3.2.4. Ponto absorvente – AquaBuoy

Segundo Zandiveh, desde a década de 1970 foram feitas inúmeras tentativas de desenvolver uma forma eficiente de aproveitar energia das ondas. Uma forma possível é designada por ponto absorvente e corresponde a uma estrutura flutuante com componentes que se movem num movimento relativo, devido a acção da onda (ex: uma bóia flutuante dentro de um cilindro fixo). Este movimento relativo é utilizado para dirigir conversores de energia electromecânica ou hidráulicos (OCS, 2008).

No projecto Contitech Fluid Tecnologia Grimsby, em Inglaterra, têm-se concentrado numa tecnologia que trabalha com uma mangueira e uma bóia bomba oscilante. A bóia é oval ou arredondada, dependendo do tipo de onda. O seu diâmetro e peso podem ser adaptados (Continental, 2007).

O AquaBuoy é categorizado como um ponto absorvente, definido como tendo uma dimensão pequena em relação à longa dimensão do oceano. É constituído por quatro elementos, compostos por uma bóia, o tubo de aceleração, o pistão (disco flutuante) e a mangueira da bomba (GCC, 2007). O tubo de aceleração é um cilindro vertical, rígido e

oco, montado sob o corpo da bóia. O tubo é aberto em ambas as extremidades, pelo que a água do mar pode passar sem obstáculos para cima e para baixo, forçando o pistão a mover-se, comprimindo ou estendendo as mangueiras das bombas. Posicionado no ponto médio do tubo de aceleração está o pistão (disco flutuante) (Figura 8). Quando a bóia está em repouso, o pistão encontra-se no ponto médio (está em equilíbrio). Quando a bóia sofre alguma oscilação, o pistão movimenta-se ou para cima ou para baixo (GCC, 2007; Holzman, 2007).



a) Esquema representativo

b) Imagem virtual (Continental, 2007)

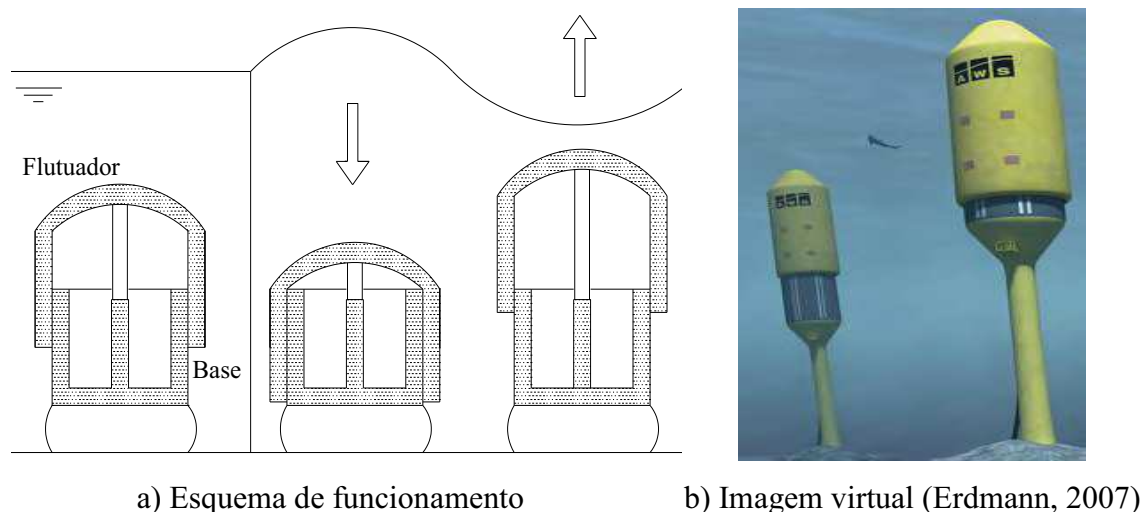
**Figura 8** – Sistema de ponto absorvente, AquaBuoy

Este dispositivo é implementado em zonas *offshore*, a profundidades entre os 50-60 m, apresentando uma gama de valores do potencial de produção que varia entre os 200 e os 300 kW (Falcão, 2005).

#### 2.3.2.5. Diferença de pressão submersa – AWS

O Archimedes Wave Swing (AWS) é um flutuador situado abaixo da superfície do mar, ancorado ao leito com um caule flexível, fazendo lembrar um cogumelo aquático gigante. Este tipo de dispositivo é implementado em zonas *offshore*, de profundidades que rondam 40-80 m. Segundo Stuart (2007), não existem outros modelos do género

que funcionem completamente debaixo de água. Devido ao movimento do mar, o AWS expande e contrai em resposta às mudanças de pressão provocadas pela passagem das ondas. O dispositivo é o único conversor de energia das ondas que trabalha alterando o seu volume. O corpo do AWS é constituído por duas partes. O flutuador tem a forma de uma taça invertida, colocado por cima da unidade base, podendo ser unido a esta através de uma membrana selo, de material flexível, feita a partir de um compósito constituído por um polímero resistente (kevlar) e borracha (Figura 9). O espaço entre o corpo e a base está sob um vácuo parcial, o que faz com que as duas partes se mantenham juntas. Para contrariar esta situação, o flutuador possui fora da base um ou mais braços hidráulicos contendo óleo sob pressão, que funcionam como molas sob compressão, empurrando o corpo para cima (Prado *et al.*, 2006; Stuart, 2007; Reidy, 2007).



**Figura 9** – Sistema de diferença de pressão submersa, AWS

Com a superfície da água calma, a pressão hidrostática exercida pela água e a força dos hidráulicos anulam a força do vácuo no interior do aparelho. Quando uma onda passa sobre o dispositivo a pressão aumenta, e depois diminui, tendo a máquina de contrair e expandir para manter o equilíbrio entre o interior e o exterior (Prado *et al.*, 2006; Stuart, 2007; Reidy, 2007).

Este conversor de energia das ondas tem desafiado engenheiros e cientistas há várias décadas. Um trabalho pioneiro foi iniciado no final dos anos setenta, em resposta à crise do petróleo e continuou nos anos oitenta. Os recentes dispositivos AWS são caracterizados por estruturas articuladas de aço ou betão, onde o movimento relativo entre as partes ou em relação a um referencial fixo é convertido em energia útil, através

de uma turbina de ar, sistema hidráulico ou outra. A gama de valores de potência produzida varia sensivelmente entre 1-2 MW (AWS, 2008).

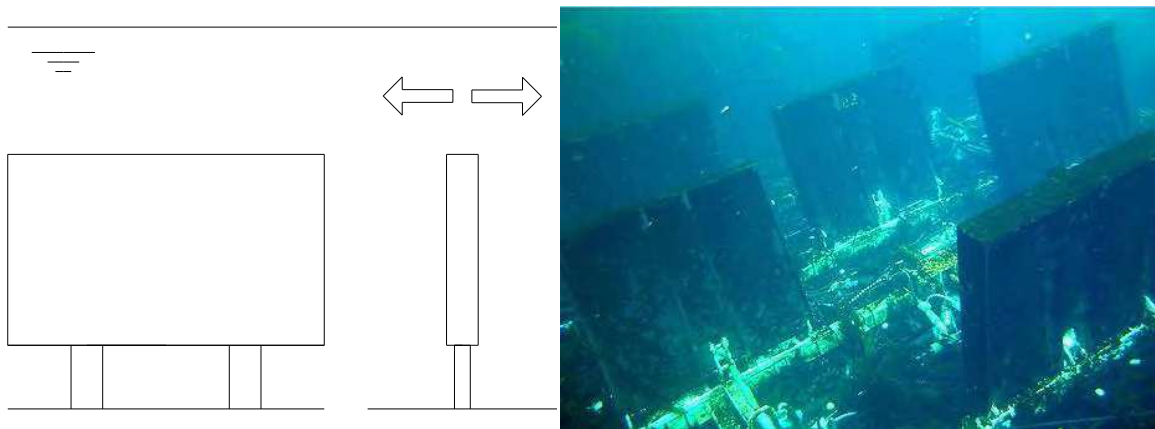
O sistema AWS, com tecnologia essencialmente holandesa, é um dos raros exemplos que atingiram a fase de construção de protótipo (Pedro, 2008).

Este tipo de sistema apresenta diversas vantagens, tais como a sobrevivência, pois o AWS ao ser submerso (pelo menos 6 m abaixo da superfície da água) evita as elevadas tempestades que outros dispositivos estão sujeitos, reduzindo assim custos e danos na amarração. A densidade de potência é até 10 vezes maior do que a dos dispositivos flutuantes, apresentando uma melhor utilização dos recursos disponíveis. O impacto ambiental é outra vantagem da submersão e o seu equipamento (elevada velocidade rotacional) não é ruidoso. Por fim, a economia, é outra vantagem deste sistema, pois em relação aos seus principais concorrentes o AWS tem um rácio mais elevado de energia produzida por quilo de aço utilizado e apresenta baixos requisitos de manutenção, pelo que é um sistema de geração de energia de baixo custo (Prado *et al.*, 2006; AWS, 2008). Um sistema semelhante foi instalado ao largo da costa leste de Oahu, Hawaii, designado por PowerBuoy. Este gerador de energia das ondas foi construído para um programa de investigação da Marinha Americana e apresenta a forma de um cilindro com 14 m de comprimento e 5 m de largura. Até agora, apenas uma bóia foi implantada, e espera-se atingir uma média de 20 kW de potência, suficiente para cerca de 14 casas (NG, 2005).

#### **2.3.2.6. Conversor oscilante da onda – WaveRoller**

O dispositivo WaveRoller constitui uma placa ancorada ao fundo do mar, através da sua parte inferior (Figura 10). Este dispositivo é implementado perto da costa (*nearshore*), a profundidades que rondam os 10-25 m. Nestas zonas, com o aproximar da onda à costa, a intensidade de movimento das partículas de água intensifica-se, e assim, o WaveRoller pode aproveitar esse recurso energético. O movimento da placa, para frente e para trás, resultante do movimento gerado pela onda, produz energia cinética que é absorvida por uma bomba pistão. Esta energia pode ser convertida em electricidade através de um sistema hidráulico, constituído pela combinação motor/gerador. O WaveRoller é um conceito modular, ou seja, cada módulo é composto por 3-5 dispositivos (placas), ligadas ao mesmo sistema gerador. Devido ao design modular, os parques WaveRoller podem ser implementados gradualmente, módulo por módulo. Os módulos apresentam

uma fácil manutenção e por outro lado, mesmo durante a manutenção de um módulo, a produção de energia não necessita parar, pois estes são independentes.



a) Esquema representativo

b) Parque de ondas em Orkney, Escócia

(AW-Energy, 2005)

**Figura 10** – Sistema conversor oscilante da onda, WaveRoller

### **3. Energia das ondas em Portugal**

Neste capítulo será referido o estado actual do aproveitamento da energia das ondas em Portugal, abrangendo pontos como o enquadramento político legal e os objectivos a atingir, o potencial energético, frisando qual o impacto energético e sócio-económico resultante do aproveitamento da energia das ondas e indicando ainda os casos de dispositivos já implementados em Portugal.

#### **3.1. Enquadramento político e legal**

Em Março de 2007, o Conselho Europeu adoptou uma estratégia global para as fontes de energia renováveis (FER), apontando que estas deverão constituir até 2020, 20% da energia consumida. Outras das metas vinculativas aprovadas pela União Europeia (UE) foram a melhoria da eficiência energética, diminuindo até 2020 cerca de 20% o consumo de energia e por outro lado, a redução das emissões de gases. No caso de Portugal, é o quarto país da UE que apresenta maiores valores de percentagem da energia renovável, sendo a sua meta até 2010, atingir ainda cerca de 40% (Fouquet e Johansson, 2008).

Relativamente à energia renovável retractada neste documento, poderá considerar-se de aplicação inexperiente, uma vez que, quer os seus sistemas (dispositivos) de geração, quer a sua legislação, são bastante restritas e precoces. Para que os sistemas de energia das ondas possam atingir um nível de tecnologia madura e economicamente competitiva, serão necessários apoios da parte do governo, quer a nível económico, quer a nível legislativo e processual, tais como facilidade no licenciamento, no acesso à rede eléctrica, um tarifário atractivo ao investimento e apoio a projectos (fundos ou empréstimos especiais) de inovação tecnológica (Cruz e Sarmento, 2004).

Em 2006, foi lançado o despacho n.º 324/2006, de 24 de Março, publicado no Diário da República, 2.ª série, n.º 71, de 10 de Abril, tendo em vista a necessidade de assegurar a promoção do desenvolvimento do aproveitamento da energia das ondas marítimas, cujo potencial estimado a atingir seria 5 GW. Por a energia das ondas poder vir a constituir um relevante contributo não só para a segurança de abastecimento, como também para a criação de um *cluster* com elevado potencial e envolvimento dos centros de competência nacionais, com saber técnico-científico e internacionalmente competitivo,

foi criado um grupo de trabalho com a missão de estudar a criação de uma zona piloto, destinada à instalação de parques de dispositivos de aproveitamento de energia a partir das ondas marítimas (Decreto-Lei n.º 5/2008).

**Tabela 2** – Zonas de possível implementação de dispositivos *offshore*

	Troço	Distância (km)	Profundidade (m)
Zona 1	Caminha – Viana do Castelo	8	50
	Viana do Castelo - Póvoa de Varzim	38	50
	Aveiro – Figueira da Foz	24	50
	Figueira da Foz - Nazaré	46	50
	Nazaré - Peniche	22	50
	Peniche - Cascais	71	50
	Sesimbra - Sines	28	60-80
Zona 2	Douro - Aveiro	16	50
Zona 3	Sines - Sagres	82	60-80

Pretendendo o governo Português desenvolver esta forma de energia, implementando dispositivos de exploração da energia das ondas, elaborou um Decreto-Lei que referencia uma zona piloto a explorar, previamente seleccionada pelo grupo de trabalho. No Decreto-Lei n.º 5/2008 é estabelecido o regime jurídico de utilização dos bens do domínio marítimo, incluindo a utilização das águas territoriais, para a produção de energia eléctrica a partir da energia das ondas do mar, na zona piloto, bem como o regime de gestão, acesso e exercício da actividade mencionada.

Na tabela 2, são indicados os troços de possível implementação de dispositivos *offshore*, na costa portuguesa, sem que se originem conflitos de uso. Estes troços podem-se dividir em três zonas: a zona 1, referente aos troços prioritários, onde não ocorre

qualquer conflito de usos, a zona 2, que caracteriza os troços de segunda prioridade, onde poderá ocorrer conflito de usos (nomeadamente com a actividade de pesca de arrasto), mas onde poderão surgir medidas que minimizem esses conflitos e por último, a zona 3, referente aos troços onde não existem conflitos de usos, mas poderão existir dificuldades na ligação à rede eléctrica (WEC, 2004).

### **3.2. Potencial energético**

Portugal apresenta boas condições para o aproveitamento da energia das ondas, pois o clima de agitação é médio/alto, já que se atingem águas profundas relativamente próximas da costa, existe disponibilidade da localização de infra-estruturas de suporte ao longo da costa (portos, estaleiros de reparação naval e rede eléctrica nacional), existem condições para a compra da energia produzida (tarifa e obrigatoriedade da compra) e também relevantes conhecimentos técnico-científicos nesta área (WEC, 2004).

Assim, estima-se que em Portugal estejam disponíveis (recurso energético) por explorar cerca de 21 GW, distribuídos entre 15 GW para o continente e 6 GW para as Regiões Autónomas (Cruz e Sarmiento, 2004).

#### **3.2.1. Impacto energético**

A produção potencial de energia eléctrica na costa Atlântica portuguesa é estimada admitindo um recurso de 30 kW/km de extensão de costa e que uma percentagem média de 15% da energia incidente pode ser convertida em energia eléctrica, o que representa um cenário realista nas próximas décadas (Cruz e Sarmiento, 2004). Tendo em conta os 335 km de costa para instalação de potenciais parques *offshore* (Tabela 2) e a necessidade de ter corredores para a navegação associada às pescas, de cerca de 20% deste valor, resulta um potencial de utilização de mais do que 250 km. O potencial de produção de energia eléctrica associado a esta extensão sobre os 50 m de profundidade é de 10 TWh/ano, o que representa cerca de 20% do consumo de energia eléctrica estimado pela ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, para 2010 (Cruz e Sarmiento, 2004; WEC, 2004). Também o Centro de Energia das Ondas afirma



que a energia das ondas em Portugal poderá, num futuro próximo, ser responsável por 20% da electricidade consumida no país (Wavenet, 2003).

### **3.2.2. Impacto sócio-económico**

O impacto sócio-económico resultante do desenvolvimento da energia das ondas, poderá ser positivo para a economia nacional, uma vez que alguns constituintes dos dispositivos poderão ser produzidos em território nacional, tais como a estrutura (parte significativa dos custos), sistemas de amarração e ancoragem e grande parte de componentes eléctricos e mecânicos, o que originará a criação de postos de trabalho e a interacção entre as empresas. No entanto, os cabos eléctricos submarinos e a sua instalação e alguns equipamentos e instrumentos específicos terão de ser importados. Por outro lado, a geração de energia, terá implicações a nível das empresas nacionais do ramo. Será necessário o reforço da rede eléctrica junto à costa (construção de centrais), pelo que as empresas poderão investir e evoluir, podendo passar a ser elas as principais fornecedoras de energia do País, deixando de estar dependentes da energia importada. Dependendo da tecnologia, da fase de desenvolvimento e das condições criadas, a incorporação nacional poderá vir a estar compreendida entre 50 e 75%. Para o potencial referido de 250 km de linha de costa e utilizando o valor indicativo de 17 M€/km para o investimento requerido, obtém-se um investimento total de 4250 M€. Para os mesmos 250 km, utilizando o valor de 20 MW/km de potência instalada, obtém-se uma potência instalada de 5 GW.

A título indicativo, refere-se que a Escócia estima um potencial de instalação de 14 GW em energia das ondas. A estratégia escocesa aponta para ter instalado 1300 MW em 2010, ano em que esperam fabricar 700 MW de energia em centrais de energia das ondas, dos quais 600 MW são para exportação. Com estes números, antevêem criar cerca de 7000 novos postos de trabalho directos em actividades de construção, instalação, operação e serviços. Estes valores são reveladores do impacto sócio-económico que a energia das ondas pode alcançar a nível nacional. Outro importante ponto a referir, no impacto sócio-económico é a influência que terá na vida de alguns pescadores, podendo estes com a sua experiência marítima, obter uma alternativa de emprego (WEC, 2004).

### 3.3. Casos existentes

Em Portugal já foram implementados alguns dispositivos, quer *onshore*, quer *offshore*. O dispositivo *onshore* implementado foi o sistema CAO, na Estação do Pico, nos Açores (Figura 11). Esta estação data de 1999 e tem capacidade de 400 kW de potência (Kofoed *et al.*, 2005; Pontes *et al.*, 2005).

Em Setembro de 2007, depois de seis meses de atraso, a empresa Pelamis planeou a instalação do primeiro parque comercial do mundo (três dispositivos de 150 m cada um) ao largo da Póvoa de Varzim (5 km da costa), em Portugal (Figura 12), a fim de fornecer 2.25 MW (suficiente para 450 casas) para a empresa Portuguesa Enersis. Só em Setembro de 2008, é que estes dispositivos chegaram a ser instalados (Holzman, 2007; Jeffries, 2008; Palmer, 2008). Os dispositivos implementados na Póvoa de Varzim, devido a problemas nos casquilhos das articulações dos macacos hidráulicos foram retirados do alto mar, estando há quatro meses parados. Segundo responsáveis pelo projecto, se não surgirem mais problemas, as máquinas estarão prontas a funcionar antes do final do verão de 2009 (Público, 2009).



a) Embate da onda no dispositivo

b) Válvula de alívio

**Figura 11** – CAO implementado na Ilha do Pico em 1999 (WEC, 2006)

A segunda parte do investimento prevê para 2011 a instalação de mais 25 máquinas Pelamis, com uma potência de 18.75 MW. A meta final é atingir 20 MW (suficiente para 4 mil casas) (Gomes, 2007; Holzman, 2007; Jeffries, 2008; Palmer, 2008).

Pertencente ao grupo WaveDragon, a empresa TecDragon (Tecnologia da Energia das Ondas, SA), em colaboração com um grupo de investidores Portugueses e Alemães desenvolveu um projecto de um sistema *offshore*, com o objectivo de aproveitar a energia das ondas em águas Portuguesas. Um dos locais previstos para a implementação do dispositivo seria São Pedro de Moel, com uma potência de cerca de 7MW (Platts, 2008). A empresa tem perspectivas de criar um parque com cerca de 50 MW, com um investimento de cerca de 150 milhões de euros (WaveDragon, 2005).



**Figura 12** – Parque de ondas na Aguçadoura (PWP, 2008)

Outro projecto para a costa marítima portuguesa é o sistema AquaBuoy, que tem como promotor a Finavera, e prevê um parque constituído por oito máquinas, com uma capacidade total de 2 MW (0.25 MW cada) (Holzman, 2007).

Uma central piloto AWS à escala 1:2 (Figura 13), com potência nominal de 2 MW, diâmetro de 9.5 m e altura de cerca de 30-40 m foi submersa em meados de 2004, ao largo da Póvoa de Varzim. Devido a duas tentativas de fixação falhadas, os responsáveis pelo projecto desenvolveram uma estrutura de suporte do dispositivo que permite o correcto funcionamento do dispositivo (Cruz e Sarmento, 2004; Pontes *et al.*, 2005).



**Figura 13** – Dispositivo piloto AWS, antes da submersão (Prado *et al.*, 2006)

Em 2007, em Peniche (100 km a norte de Lisboa), foi implementado um dispositivo de aproveitamento das ondas, o WaveRoller (primeiro exemplar) (Figura 14a). Este tipo de dispositivo funciona em locais perto da costa (*nearshore*) e é instalado no leito oceânico, aproveitando o movimento das partículas de água. Após o sucesso da primeira instalação, em Abril de 2008, foi instalado no mesmo local outro dispositivo Waveroller (Figura 14b). Cada dispositivo tem uma potência de cerca de 10-13 kW e dimensões de 3x5 m<sup>2</sup> (Neumann, 2008).



a) Transporte do 1º WaveRoller



b) Imersão do 2º WaveRoller

**Figura 14** – Dispositivo WaveRoller em Peniche (SmartPlanet, 2008)

As unidades comerciais (módulos) são constituídas por três placas, cada uma. A empresa responsável por esta instalação, Grupo Lena, prevê a implementação de 1 MW (cerca de 22 placas de três) (SmartPlanet, 2008).

#### **4. Condicionantes na aplicação de sistemas de energia das ondas**

Neste quarto capítulo serão analisadas as condicionantes resultantes da aplicação de sistemas de energia das ondas particularizando ao caso Português, referindo os conflitos de uso, os impactos ambientais e as vantagens e desvantagens dos diversos sistemas. Após essa análise, é feita uma análise matricial das opções, comparando os diferentes dispositivos, tentando optar pelos sistemas que representam a melhor solução para uma situação de aplicação na região costeira de Aveiro.

##### **4.1. Conflitos de usos**

Baseado no relatório do Centro de Energia das Ondas (WEC, 2004), são apresentados na Figura 15 alguns dos diferentes usos, da zona costeira do noroeste português, tais como os acessos a portos, as zonas de pesca por arrasto e as zonas protegidas. Estas zonas condicionam e podem entrar em conflito com os sistemas de aproveitamento da energia das ondas.

Nas zonas de acesso a portos é importante que os parques implementados, não interfiram nas manobras das embarcações. Esta restrição refere-se quer aos próprios dispositivos, quer aos seus sistemas de fixação, pelo que estas zonas devem ser muito bem delimitadas. Outro tipo de potencial conflito de uso é a pesca por arrasto, que por imposição legal, só pode ser exercida a mais de 6 milhas náuticas de distância à linha da costa (WEC, 2004). Com excepção da zona de Aveiro, esta distância corresponde na costa Portuguesa em geral a profundidades superiores aos 50 m. Para além da imposição física, este conflito de uso arrecada aspectos sociais, que condicionam o desenvolvimento da energia das ondas em larga escala, dependendo ou não da aceitação da comunidade piscatória. Para que ninguém seja prejudicado, deverá haver acordos entre as entidades envolvidas, analisando as condicionantes resultantes e procurando as respectivas soluções (WEC, 2004).

Relativamente às zonas protegidas, podem abranger zonas turísticas, ou zonas de importância marinha (espécies em via de extinção, recifes de corais), como por exemplo, a zona da Ilha das Berlengas. Pela Figura 15, pode-se observar que as áreas de acesso aos portos representam uma parte significativa do espaço marítimo,

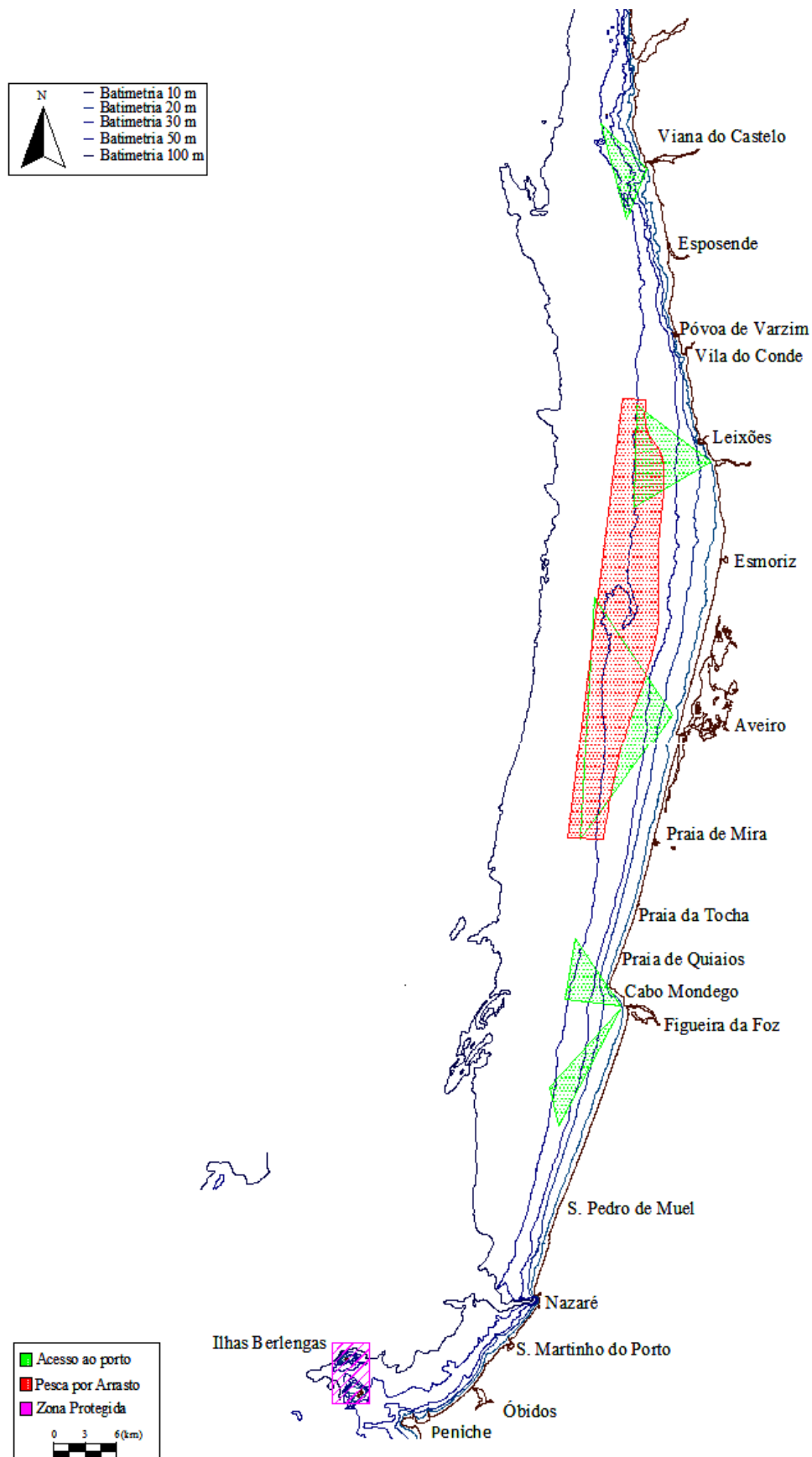
sobrepondo-se com os locais de possíveis parques de ondas. A pesca por arrasto, ocupa uma grande área, entre a zona de Aveiro e o Douro, em volta da batimetria dos 50 m.

Por outro lado, os parques de dispositivos *offshore*, poderão influenciar benéficamente zonas de recreio e lazer, visto que, ao alterarem o regime de agitação, criam uma zona a jusante, mais abrigada, favorecendo a prática de algumas actividades (windsurf, navegação de embarcações de pequeno porte) (Cruz e Sarmento, 2004).

#### **4.2. Impactes ambientais**

Os sistemas de aproveitamento da energia das ondas do mar provocam diversos impactos ambientais, benéficos ou nefastos. Como nestes sistemas, o conhecimento e a experiência à escala real é limitada, a análise dos efeitos resultantes da implementação dos dispositivos carece de informação. Os impactes ambientais são certamente específicos para cada local, pelo que a definição da sua tolerabilidade irá variar também de local para local (Cruz e Sarmento, 2004; Pontes *et al.*, 2005).

Até ao presente, a generalidade dos estudos realizados no decorrer da fase de projecto, por forma, a determinar os possíveis impactes que os dispositivos genéricos poderiam originar, foram feitos comparando estes sistemas a plataformas petrolíferas, navios ancorados e sistemas eólicos. Na análise desses estudos, os responsáveis concluíram que os impactos nefastos do aproveitamento da energia das ondas são bastante reduzidos, tendo maior relevância na fase de implementação (Pontes *et al.*, 2005; Sarmento, 2006). Entre os diversos impactos ambientais, podem enumerar-se os impactos visuais, os sonoros e os impactos nos ambientes marinhos. O impacto visual difere de dispositivo para dispositivo seja este, *onshore*, *nearshore* ou *offshore*, visto que, com a distância à costa o impacto visual diminui. Dentro dos dispositivos que provocam menos impacto (*offshore*), existem os dispositivos submersos, que não apresentam qualquer impacto visual, e os dispositivos semi-submersos, que apresentam reduzidos impactes, devido às suas alturas acima da superfície do mar serem pequenas. No entanto, a sinalização luminosa (quando visível de terra) que delimita a área de implementação dos dispositivos e as estruturas em terra, que têm a função de transmitir a energia eléctrica para a rede, poderão originar impactos significativos. Os dispositivos próximos da costa têm uma maior tendência para serem responsáveis por um maior impacto visual. No entanto, o impacto pode ser minimizado através da sua integração em estruturas de protecção costeira (molhes ou quebramares) (Sarmento, 2006).



**Figura 15** – Diferentes usos na zona costeira do noroeste Português



Tal como o impacto visual, o impacto provocado pelo ruído depende da distância à costa, diminuindo com o aumento da mesma (CRES, 2002). Por exemplo, o dispositivo CAO é constituído por turbinas de ar, o que de certa forma, origina ruído, que poderá ser atenuado utilizando técnicas convencionais. Por outro lado, este impacto pode também ser referenciado como um possível impacto na vida marinha, uma vez que, o ruído provocado pelos dispositivos poderá afastar os seres vivos da zona de implementação e de alguma forma alterar a vida marinha.

Um dos impactos benéficos dos dispositivos sujeitos a ancoragem é a formação de recifes artificiais sobre as ancoragens dos dispositivos, desenvolvendo biodiversidade marinha (Sarmiento, 2006).

#### **4.3. Vantagens e desvantagens dos diversos sistemas**

Perante a reduzida experiência na implementação de dispositivos, a informação referente a vantagens e desvantagens dos dispositivos é também escassa. No entanto, nos sub-pontos seguintes enumeram-se as principais características positivas e negativas de cada sistema.

##### **4.3.1. Coluna de Água Oscilante**

Por ser um dispositivo costeiro, apresenta algumas desvantagens, nomeadamente impactos visuais e sonoros e reduzido aproveitamento da energia das ondas. Este dispositivo apresenta dimensões consideráveis, necessitando de cerca de 5 a 8 m de altura de água. Desta forma, para que a implementação do dispositivo na linha de costa não crie demasiados impactos visuais, este deverá ser disfarçado na costa (escavando a rocha). Para além destes impactos visuais, o dispositivo apresenta impactos sonoros, visto que para além do ar aprisionado, que provoca elevado ruído, o seu funcionamento obriga à rotação de turbinas que originam ruídos. Os testes realizados, no dispositivo piloto do Pico, em 2005 e 2006, verificaram vibrações excessivas no apoio da turbina, para rotações da ordem dos 1200 rpm. Para além da sua instabilidade, as vibrações provocavam ruído (Sarmiento *et al*, 2006).

Devido à dissipação de energia das ondas na aproximação à costa, estes dispositivos não aproveitam essa energia ao máximo. Assim a sua localização, terá que ser bem analisada, por forma, a evitar a implementação em zonas de lazer, ou em zonas protegidas, procurando um local que permita um melhor aproveitamento da energia das ondas, tendo em conta os fenómenos de difracção e refracção das ondas.

Por outro lado, é o sistema com maior experiência no ramo do aproveitamento da energia das ondas. Este sistema apresenta vantagens, como a facilidade na manutenção, no transporte da energia e no processo de ancoragem e não apresenta conflitos de uso (cumprindo os cuidados anteriormente referidos), quer relativamente à actividade piscatória, quer em termos de navegação e lazer.

#### **4.3.2. WaveDragon**

O sistema flutuante WaveDragon, por ser instalado ao largo da costa, cria algumas barreiras à sua implementação. Este sistema necessita de longos cabos eléctricos para o transporte da energia capturada até terra, o que implica elevados custos, já que os cabos têm preço elevado e a sua aplicação requer a utilização de navios especializados. Para profundidades inferiores a 50 m, os cabos terão de ser enterrados, evitando estar sujeitos a danos provocados pelas acções naturais (correntes e ondas), pela actividade de pesca de arrasto e pelo ancoramento de navios no mar. Para definir a profundidade de enterramento necessária, será necessário fazer estudos batimétricos da zona de aplicação dos cabos, dependendo das características do fundo. Para zonas mais duras (rochosas), os cabos terão de ser revestidos com tubos metálicos (WEC, 2004).

Este sistema apresenta problemas de fixação (ancoragem ao fundo), estabilidade (fixo apenas num ponto) e estando sujeito a tempestades, degradação do dispositivo e acesso à manutenção. Por estar instalado ao largo, o seu impacto visual é pouco significativo. Já em termos de impacto sonoro, devido a este dispositivo funcionar através de turbinas, poderá influenciar o habitat marinho e o afastamento das aves, embora se pense que o ruído provocado pelo dispositivo não será superior ao provocado pelos navios e desta forma, não terá elevada relevância (WEC, 2004).

A implementação de um parque constituído por este dispositivo poderá originar conflitos de uso, a nível piscatório, navegação e lazer. Devido à ausência de experiência, este sistema apresenta elevados custos, que se espera que diminuam com a

maturidade dos sistemas. Embora apresente elevados custos, este sistema consegue captar elevados níveis de energia das ondas do mar (WEC, 2004).

Apesar de reduzidas ou quase nulas, o sistema WaveDragon, ao ser implementado em zonas *offshore*, poderá provocar alterações no regime de agitação, reflectindo-se perto da costa. Por outro lado, nestas zonas *offshore* as ondas apresentam valores elevados de energia, pelo que, este dispositivo poderá aproveitar essa energia que lhe é disponibilizada.

#### **4.3.3. Pelamis**

O Pelamis é um dispositivo que se encontra ainda em fase de desenvolvimento, pelo que apresenta reduzida experiência de aplicação, o que origina elevados custos.

Tal como o sistema WaveDragon, o dispositivo Pelamis também apresenta problemas a nível do transporte de energia e conflito de usos. Sendo um dispositivo de grandes dimensões e necessitando de espaço para o seu funcionamento, por ser dinâmico e sujeito a movimentos em diferentes direcções, esses conflitos terão maior impacto. A nível de impactos visuais, por ser um dispositivo *offshore* e semi-submerso e por apresentar uma altura acima da superfície da água de cerca de 1 m, os impactos serão reduzidos ou quase nulos.

Em termos de potência produzida, o Pelamis está limitado a 750 kW, para uma altura de onda de cerca de 5.5 m. A partir desse valor, mesmo que a potência capturada seja superior, o dispositivo apenas consegue gerar 750 kW. Outras desvantagens do sistema Pelamis são o acesso à manutenção e a possível alteração do regime de agitação (apesar do impacto estimado ser reduzido ou nulo). No entanto, o Pelamis não provoca grandes impactos sonoros e está preparado para minimizar os efeitos nefastos das tempestades, sendo bastante resistente a grandes efeitos hidrodinâmicos. Por ser um dispositivo *offshore*, o Pelamis poderá aproveitar uma gama elevada de energia, uma vez que é nestas zonas que este recurso marítimo é mais elevado (PWP, 2008).

#### 4.3.4. AWS

Visto ser um dispositivo submerso, o dispositivo AWS não cria impactos visuais, e não sofre danos nefastos, resultantes de tempestades, uma vez que nas profundidades onde é implementado, os efeitos das tempestades já não se fazem sentir com tanta intensidade (Prado *et al*, 2006).

Por estar implementado ao largo da costa, apresenta algumas das desvantagens dos dispositivos anteriores, tais como, dificuldades no acesso à manutenção, dificuldades e custos elevados no transporte de energia e conflitos de uso. Outra desvantagem do dispositivo é a fixação, referindo-se o exemplo do protótipo implementado na Póvoa de Varzim, que apresentou problemas, e onde foram falhadas duas tentativas de fixação. Tal como os outros dispositivos *offshore*, o AWS ainda não possui grande experiência, a sua tecnologia ainda não é madura e assim, também os seus custos são elevados. Novamente, uma vantagem de ser um dispositivo *offshore*, é de ser implementado em zonas de elevada agitação marinha.

#### 4.3.5. AquaBuoy

O AquaBuoy é mais um dispositivo *offshore*, e como tal, apresenta genericamente as mesmas desvantagens que os anteriores (manutenção, transporte de energia, conflitos de usos), podendo também aproveitar por outro lado, o recurso energético das zonas *offshore*.

#### 4.3.6. WaveRoller

Sendo o dispositivo WaveRoller submerso, não apresenta nem impactos visuais, nem impactos sonoros. Devido à dissipação de energia das ondas na aproximação à costa, este dispositivo não aproveita essa energia ao máximo, sendo um sistema *nearshore*. Outra das desvantagens de ser um dispositivo *nearshore*, é o facto de ser implementado na zona onde ocorre sedimentação, podendo interferir de alguma maneira neste processo e por outro lado, os sedimentos acumulados nessa zona, poderão interferir no funcionamento dos dispositivos, impedindo um correcto funcionamento. Apesar de ser

submerso, e fixo ao fundo oceânico, este dispositivo poderá interferir com a navegabilidade de embarcações (âncoras).

Por outro lado, o WaveRoller não necessita de longos cabos eléctricos, para o transporte da energia gerada, e a sua manutenção, no caso de um parque de ondas, poderá ser independente, módulo por módulo, o que não obriga à paragem da produção de energia.

#### 4.4. Análise matricial das opções

Resumindo toda a análise efectuada no ponto 4.3, apresenta-se a Tabela 3, onde se comparam as vantagens e desvantagens de cada um dos seis sistemas estudados. Na matriz, foi considerado um “√” para assinalar as propriedades em que o dispositivo é vantajoso e com um “x” quando se considera negativo o impacto do dispositivo. Em diversos casos a avaliação não é nem positiva, nem negativa ou não se possui informação conclusiva, pelo que foi considerado “-”.

**Tabela 3** – Vantagens e desvantagens dos diversos sistemas

	IV	R	M	TE	I/F	ARA	CU	EA	PG	CEO	C
COA	x	x	√	√	√	-	√	√	-	x	-
WaveDragon	-	x	x	x	x	-	x	x	-	√	x
Pelamis	-	-	x	x	-	-	x	x	x	√	x
AWS	√	-	x	x	x	x	x	x	-	√	x
AquaBuoy	-	-	x	x	x	x	x	x	-	√	x
WaveRoller	√	-	√	√	-	-	x	x	-	x	-

Legenda:

IV – Impactos Visuais

R – Ruído

M – Manutenção

TE – Transporte de Energia

I/F – Instalação/Fixação

ARA – Alteração do Regime de Agitação

CU – Conflitos de Uso

EA – Experiência de Aplicação

PG – Potência Gerada

CEO – Captura de Energia das Ondas

C – Custos

Analizando a Tabela 3, conclui-se que apenas o sistema CAO, apresenta impactos visuais realmente consideráveis, visto ser um dispositivo *onshore*. Por outro lado, os dispositivos AWS e WaveRoller, por se encontrarem submersos, fixos ao fundo oceânico, não provocam qualquer impacto visual.

Funcionando os dispositivos CAO e WaveDragon através de rotação de turbinas, o movimento provocado pelas mesmas, origina ruído. No caso do dispositivo WaveDragon, estando implementado ao largo da costa, o ruído oriundo do dispositivo poderá apenas afectar a fauna marinha, mas no caso do dispositivo CAO, o ruído poderá afectar a população, uma vez que está implementado na linha de costa. Quanto aos outros dispositivos, da pesquisa feita, não foi conclusivo os impactos sonoros, apenas foi referido que, por analogia as embarcações os impactos resultantes, não seriam muito significativos (WEC, 2004).

No que diz respeito à manutenção, os dispositivos *offshore* estão sujeitos a maiores dificuldades, devido ao acesso condicionado, relacionando com a distância e meios necessários. Neste aspecto, os dispositivos *onshore* e *nearshore*, por se encontrarem perto da costa, têm o acesso facilitado, logo menores dificuldades na manutenção. Pela mesma razão, no transporte da energia produzida, os dispositivos *offshore* apresentam maiores problemas, pois necessitam de longos cabos eléctricos a instalar ao longo do fundo do mar.

No que se refere à instalação/fixação, os dispositivos *offshore* deverão ser fixos ao fundo oceânico, recorrendo a sistemas de cabos. Por estarem instalados ao largo, onde a agitação marítima é elevada, estes dispositivos apresentam problemas de estabilidade. No caso do dispositivo WaveDragon, a sua fixação depende apenas de uma ligação. O dispositivo *onshore* (CAO), estando implementado nos maciços rochosos, não apresenta problemas de fixação.

Outra das desvantagens de alguns dos dispositivos *offshore* é a alteração do regime de agitação das ondas. No caso dos dispositivos flutuantes e semi-flutuantes, essas alterações são reduzidas, uma vez que estão implementados a grandes profundidades. O dispositivo AquaBuoy, apesar de ser um dispositivo semi-flutuante, apresenta dimensões consideráveis (parte imersa), desta forma, um parque de ondas, poderá provocar significativas alterações do regime de agitação. Pela mesma razão, o AWS, estando submerso e apresentando dimensões consideráveis e alturas elevadas, face às profundidades onde está instalado, poderá originar alteração do regime de agitação, reduzindo a acção das ondas nas zonas perto da costa.

Quanto a conflitos de usos, os dispositivos *offshore*, ao encontrarem-se em zonas de grandes profundidades, em zonas de tráfego marítimo, criam conflitos de uso com embarcações quer de pesca, quer de lazer, podendo ainda as âncoras das embarcações interferirem no funcionamento de alguns dispositivos, tais como o AWS, ou com os cabos eléctricos de transporte de energia (afectando qualquer tipo de dispositivo *offshore*). O dispositivo CAO, ao ser instalado na costa, não origina conflitos, pelo menos referentes a embarcações.

Qualquer dos dispositivos analisados não possui grande experiência de aplicação. No entanto, o dispositivo CAO, por ser um dispositivo de 1ª geração, e por já terem sido desenvolvidos vários exemplares, é o tipo de sistema que maior experiência de aplicação tem. No que diz respeito a limitações de potência gerada, o Pelamis está limitado a uma potência de cerca de 750 kW, mesmo que a altura de onda significativa aumente, a potência gerada não ultrapassa os 750 kW. Para os outros dispositivos, não foram encontrados dados referentes a limitações de potência gerada. Nas zonas ao largo da costa, considera-se que a intensidade de agitação marítima é elevada, e assim, os dispositivos *offshore* poderão usufruir ao máximo do recurso energético, sendo avaliados de forma positiva no parâmetro de captura da energia das ondas. No caso dos dispositivos *onshore*, ou *nearshore*, estes não usufruem do máximo do recurso energético, uma vez que, com o aproximar da costa a intensidade das ondas diminui, devido à interacção com o fundo.

A tecnologia de aproveitamento da energia das ondas não sendo uma tecnologia madura, pelo que os seus custos são elevados. No futuro estes custos poderão diminuir, com a aquisição de experiência. De momento, considera-se que a menor experiência e as questões de acessibilidade condicionam de forma negativa os custos dos equipamentos *offshore*.

Da análise feita, avaliando as vantagens e desvantagens de cada dispositivo, verificou-se que, os dispositivos CAO, Pelamis e AWS apresentam aparentemente as melhores condições de implementação e por outro lado, estes dispositivos já foram implementados em Portugal, podendo usufruir assim, da experiência já adquirida com as anteriores instalações. O dispositivo WaveRoller, também é um dos dispositivos que apresenta melhores opções e também já foi implementado em território Português, no entanto, a sua potência gerada, é relativamente baixa em comparação aos outros três dispositivos (cerca de 13 kW) não existe tanta informação disponível como para os

restantes equipamentos. Sendo assim, serão estes três dispositivos a serem estudados com maior pormenor.

Na perspectiva de avaliar uma eventual implementação de um sistema na região de Aveiro, enumeram-se a partir deste capítulo algumas comparações entre o sistema CAO, o Pelamis e o AWS.



## **5. Estudo económico**

De acordo com as opções anteriores, foi realizada uma pesquisa sobre diversos dispositivos já implementados e projectos previstos até à data, para os três diferentes sistemas de aproveitamento da energia das ondas do mar adoptados. Nesta análise, foi feita uma comparação a nível de potência (P), área de implementação requerida para o funcionamento do dispositivo (A) e investimento (I) necessário.

### **5.1. Identificação e avaliação de custos**

Como referido, os três diferentes tipos de dispositivos analisados em detalhe foram o CAO, o AWS e o Pelamis. Nestes sistemas, foram avaliadas as características de casos concretos, já implementados e de estudos em desenvolvimento.

Referente ao dispositivo CAO, apresentam-se três situações (Tabela 4). O projecto-piloto implementado na Ilha do Pico, Açores (caso 1), em 1999, teve um investimento a rondar os 5 milhões de euros, para uma potência de cerca de 400 kW e uma área de implementação da câmara de 12x12 m<sup>2</sup> (Cruz e Sarmiento, 2004). Outros dois casos analisados referem-se a dispositivos implementados em Espanha. Um encontra-se em fase de construção, no quebramar “A Guardia”, na Galiza e representa um investimento da ordem dos 1.5 milhões de euros e uma potência de cerca de 600 kW (caso 2). O segundo caso espanhol ainda é um projecto para ser implementado no novo quebramar de “Mutriku” (caso 3), País Basco, com um investimento de 3.5 milhões de euros e uma potência de 320 kW (16 turbinas com 20 kW cada uma) (IEA, 2007; Marqués, 2008; Martinez, 2008).

Numa comparação dos dois dispositivos (casos 1 e 2) com a mesma filosofia de funcionamento (número de turbinas instaladas), verifica-se uma diferença considerável no valor do investimento. Esta diferença poderá dever-se ao ano de implementação, pois o dispositivo implementado no ano de 2008, possui relativamente ao outro mais 9 anos de conhecimento e experiência. Além disso, o dispositivo do caso 2 foi implementado num quebramar, aproveitando assim a estrutura do quebramar e não sendo necessária a construção da estrutura física do dispositivo, mas apenas da sua parte mecânica. O dispositivo do caso 3, ainda não foi implementado no quebramar.

Na Tabela 4, é analisada também a relação entre os dados disponíveis do dispositivo CAO. A relação da potência instalada com a área de implementação dos dispositivos (P/A), nos casos 1 e 2 representa uma diferença de 50% resultante directamente da diferente potência gerada. A área de ambos os casos corresponde a 12x12 m<sup>2</sup>. Este resultado estará novamente relacionado com a idade dos dois dispositivos e com a diferença de conhecimento na fase de estudo e projecto, uma vez que aquando da implementação do dispositivo do caso 2, já teriam sido estudados e implementados outros dispositivos do mesmo género. O mesmo acontece para os quocientes Potência/Investimento e Investimento/Área destes dois casos. A comparação entre os casos 1 e 2 revela uma evolução positiva no desenvolvimento desta solução de aproveitamento da energia das ondas.

Em relação ao caso 3, apenas se poderá relacionar a potência e o investimento, do qual se obtêm valores da mesma gama do caso 1. O caso 3, apresenta menos potência, mas um maior investimento, relativamente ao caso 2. Este facto poderá dever-se a, no caso 3, o dispositivo ser constituído por 16 turbinas, com 20 kW cada, o que não acontece no caso 2. A previsão da utilização de um maior número de turbinas, poderá encarecer o dispositivo.

**Tabela 4** – Casos referentes ao dispositivo CAO

	Ano	P (MW)	I (M€)	A (km <sup>2</sup> )	P/A	P/I	I/A
Caso 1	1999	0.40	5.0	0.000144	2778	0.080	34722
Caso 2	2008	0.60	1.5	0.000144	4167	0.400	10417
Caso 3	2008	0.32	3.5	-	-	0.091	-

Relativamente ao Pelamis, foram analisados sete casos (Tabela 5). Os casos 2, 3 e 6 representam perspectivas para a segunda fase do parque de ondas, previsto para a Aguçadora, Póvoa de Varzim, que consiste na implementação de mais 25 máquinas Pelamis (WEC, 2004; Pinto, 2008). Os valores de potência apresentam uma ligeira diferença, visto serem apenas perspectivas de diferentes estudos estimadas em datas diferentes. Para o caso 2, não foi possível a obtenção do valor do investimento, pelo que se

assumiu o valor do caso 6, uma vez que, ambos apresentavam a mesma área de implementação e valores de potência próximos.

Por serem dispositivos flexíveis, sujeitos a movimentos em diferentes direcções, os dispositivos Pelamis necessitam de uma distância entre eles de cerca de 150 m na direcção paralela à costa e 200 m na perpendicular. Desta forma, um parque com 1 km<sup>2</sup> será constituído por cerca de 40 máquinas Pelamis (Cruz e Sarmiento, 2004; PWP, 2008). Nos casos analisados, quando não foi possível obter informação sobre a área de implementação (caso 3), atribuíram-se valores, tendo como base o número de dispositivos necessários para ocupar 1 km<sup>2</sup> e as distâncias necessárias para o bom funcionamento dos mesmos. Referente à potência, sabendo o número de dispositivos necessários para ocupar uma dada área, e conhecendo a potência de um dispositivo, obtém-se a potência total dos dispositivos. No que diz respeito ao investimento, tendo dados de um parque de ondas, constituído por 25 dispositivos, e sabendo o custo de um dispositivo, fazendo a relação, obtém-se a fracção de maturidade, ou seja, quantos mais dispositivos instalados, menor será o custo unitário de cada um. Assim, utilizando a fracção de maturidade, é possível fazer estimativas de investimentos para parques de ondas. Os casos 4 e 5 referem-se as três máquinas implementadas ao largo da costa da Póvoa de Varzim (5 km), em Setembro de 2008 (fontes diferentes).

**Tabela 5** – Casos referentes ao dispositivo Pelamis

	Ano	P (MW)	I (M€)	A (km <sup>2</sup> )	P/A	P/ I	I/A
Caso 1	2004	0.75	15.0	0.03	25	0.05	500
Caso 2	2004	18.75	70.0	1.00	19	0.30	70
Caso 3	2008	20.00	-	1.20	17	-	-
Caso 4	2008	2.25	8.5	0.09	25	0.27	94
Caso 5	2008	2.50	9.0	0.09	28	0.28	100
Caso 6	2008	21.00	70.0	1.00	21	0.30	70
Caso 7	2008	1260	-	42.00	30	-	-

Fazendo uma análise proporcional dos dados do caso da Póvoa de Varzim, com o caso de Orkney, Escócia (caso 1), conclui-se que entre a implementação dos dois dispositivos houve uma redução dos valores de investimento, que poderá dever-se à evolução e aquisição de conhecimentos.

Os valores do caso 7 foram obtidos por Fernandes (2008), comparando a geração de energia das ondas (Pelamis) com a de uma central térmica em Sines. Nesta comparação o objectivo era saber qual seria a área de implementação do dispositivo Pelamis, para gerar a mesma potência da central.

Para o Pelamis, relacionando a potência instalada com a área do dispositivo, obteve-se uma gama de valores, que oscilam entre os 17 e os 30, bastante abaixo desta mesma relação, no CAO. Na relação Potência/Investimento, os valores obtidos foram bastante próximos uns dos outros, embora para o caso 1, se tenha verificado uma diferença mais significativa. Este resultado poderá dever-se, a este caso retratar o primeiro dispositivo instalado (reduzida experiência) e por ter sido instalada apenas uma máquina.

Nos outros casos foram instaladas ou previstas instalar três ou mais máquinas, permitindo uma redução do custo unitário de investimento. Por último, foi relacionado o investimento com a área de implementação do dispositivo, da qual resultou uma gama de valores entre os 70 e os 100, com nova excepção do caso 1, pelas mesmas razões já apresentadas, correspondentes ao elevado custo unitário.

Na tabela 6, são analisados os casos referentes ao dispositivo AWS. Segundo a empresa AWS Ocean Energy, um parque genérico com cerca de 3 milhas náuticas de comprimento e dois cabos de largura (duas fileiras de dispositivos) terá a capacidade de gerar cerca de 50 MW, de forma a fornecer electricidade a 25000 casas (caso 1) (AWS, 2008).

**Tabela 6** – Casos referentes ao dispositivo AWS

	Ano	P (MW)	I (M€)	A (km <sup>2</sup> )	P/A	P/I	I/A
Caso 1	-	50	-	-	-	-	-
Caso 2	2004	1	20	0.00025	3932	0.05	78635
Caso 3	2006	200	282	-	-	0.70	-

O caso 2 apresenta os dados referentes ao dispositivo instalado à escala 1:2, na Póvoa de Varzim. Este dispositivo apresenta um diâmetro de 9 m (Cruz e Sarmento, 2004).

Após ter sido instalado o primeiro Archimedes Wave Swing em Orkney, Reino Unido, a empresa AWS Ocean Energy, tem em mente instalar um parque de ondas, constituído por 100 máquinas (caso 3), com uma potência de 200 MW e um investimento de 282 M€ (Reuk, 2006).

Para o dispositivo AWS (Tabela 6), apenas no caso 2 foi possível relacionar os três dados, referentes a potência, área e investimento. No entanto, no caso 3, apesar de não se dispor da área ocupada pelo dispositivo, foi relacionada a potência com o investimento, verificando-se uma grande diferença com o valor do caso 2. Uma possível razão para uma diferença tão acentuada, pode ser o facto do dispositivo do caso 2, ter sido implementado em 2004 e ter sido uns dos primeiros dispositivos pré-comerciais a uma escala mais reduzida, enquanto o caso 3, refere dados de perspectivas a implementar, à escala real, com um maior conhecimento no ramo. Por exemplo, o dispositivo do caso 2, foi implementado ao largo da costa da Póvoa de Varzim. Neste caso, foram fracassadas duas tentativas em fixar o dispositivo ao fundo do mar, resolvendo-se a situação colocando o dispositivo numa estrutura metálica (Cruz e Sarmento, 2004). Estes percalços que surgem na implementação de uns dispositivos, servem como referência para outros, relevando a grande importância da experiência, correspondente a uma tecnologia muito recente e que requer elevados custos.

A Tabela 7 apresenta uma comparação entre dispositivos, avaliando-se as médias dos casos apresentados de cada dispositivo. Na comparação da relação Potência/Área dos diferentes dispositivos, verifica-se que o dispositivo CAO e o AWS, apresentam a mesma gama de valores, enquanto o Pelamis apresenta uma ordem de grandeza mais reduzida. Este facto resulta do dispositivo Pelamis, necessitar de uma área muito superior à dos outros, por ser um dispositivo flexível e sujeito a movimentos em diferentes direcções obrigando a uma grande distância entre as máquinas. Na relação entre Investimento e Área, depara-se com a mesma diferença de valores originada pelos mesmos motivos.

Na média da fracção Potência/Investimento, os valores são relativamente próximos, apesar do dispositivo AWS se destacar, apresentando valores um pouco superiores aos outros dois. Assim, o investimento necessário para produzir 1 kW, apresenta valores próximos, sendo o sistema AWS o mais económico, seguido do Pelamis.

**Tabela 7** – Relações médias Potência/Área/Investimento dos diferentes dispositivos

	P/A	P/I	I/A
CAO	3472	0.20	22569
Pelamis	24	0.23	167
AWS	3932	0.38	78635

Na comparação dos dispositivos, tendo como base a área de implantação, observou-se que para a mesma gama de valores de potência, o CAO é mais económico que o AWS. O sistema Pelamis, mais uma vez, apresenta valores inferiores. Há que salientar, que o número de máquinas instaladas numa mesma área, para cada sistema é bastante diferente, resultando uma diferença elevada de valores.

Caso se pretendesse efectuar um determinado investimento, verifica-se que o dispositivo AWS, para uma área inferior à do dispositivo CAO, apresenta uma maior potência. O Pelamis produz uma potência superior à do CAO, mas também ocupa uma área superior.

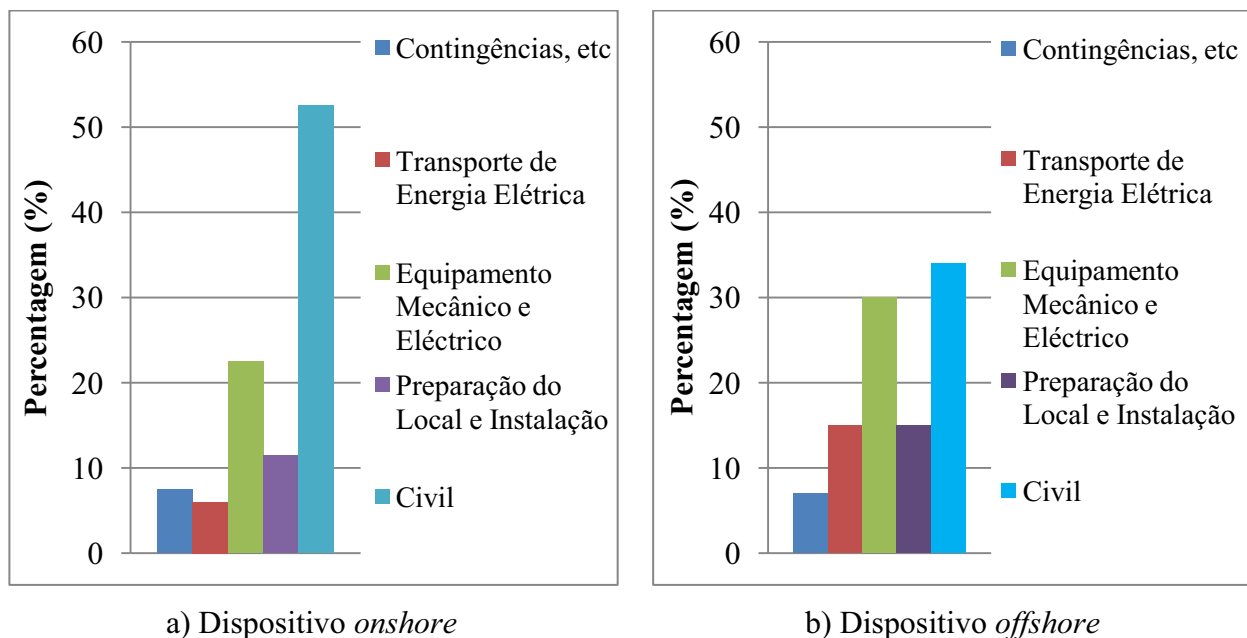
Da análise efectuada, pode-se concluir que, o dispositivo AWS demonstra ser o que apresenta as melhores condições para ser implementado e possibilitar a melhor rentabilidade possível, quer em termos económicos, quer de potência. O dispositivo Pelamis tem o inconveniente de ocupar uma grande área, quando constitui um parque de ondas.

## 5.2. Viabilidade económica

Nos sistemas de aproveitamento da energia das ondas do mar existem diversos factores que influenciam os custos totais da implementação de um dispositivo, nomeadamente os custos de preparação do local e instalação, os custos de construção de infra-estruturas adjacentes aos dispositivos, os custos de transporte da energia produzida, os próprios custos do equipamento e os custos relativos às contingências da implementação. Seguindo os dados do documento CISEPI (2008), foi feita uma análise mais específica, comparando a distribuição dos custos em sistemas *onshore* e *offshore* (Figura 16).

Na análise da Figura 16, depara-se que no transporte de energia eléctrica, um dispositivo *offshore* apresenta o triplo da percentagem de custo total que um dispositivo *onshore* apresentaria ao ser implementado. Estes valores advêm dos dispositivos *offshore* necessitarem de longos cabos submarinos (custos elevados dos cabos e da sua instalação). Quanto ao custo do equipamento mecânico e eléctrico, os sistemas *offshore* também apresentam uma percentagem relativamente superior à dos dispositivos *onshore*, o que poderá dever-se a estes sistemas recorrerem essencialmente a equipamentos mecânicos e eléctricos para a transformação da energia das ondas.

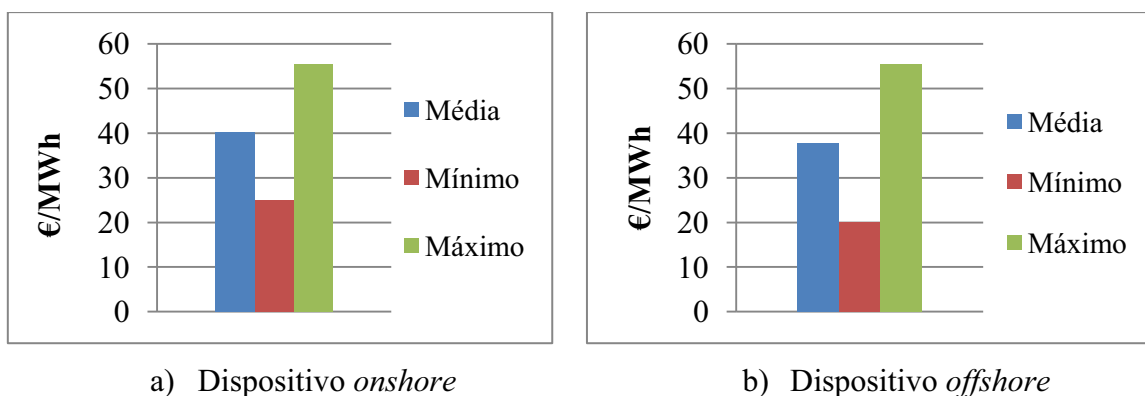
No campo da preparação do local e instalação verifica-se uma ligeira diferença. Os dispositivos *offshore* apresentam uma percentagem superior, resultante das dificuldades na instalação dos dispositivos em alto mar. Por fim, em relação à percentagem dos custos relativos à construção de infra-estruturas necessárias para o correcto funcionamento dos dispositivos, nota-se que os dispositivos *onshore* apresentam valores significativamente superiores, uma vez que a estrutura destes (por exemplo o CAO) é em betão. Tanto num tipo como no outro, é necessária a construção de estruturas de apoio aos dispositivos, tais como, centrais eléctricas, estruturas de acesso, entre outras. Em termo de custos com este tipo de contingências, ambos apresentam a mesma percentagem dos custos totais.



**Figura 16** – Distribuição percentual do custo de capital

Segundo dados obtidos do documento CISEPI (2008), efectuou-se uma análise de valores de custo/potência, comparando novamente os dados dos dispositivos *onshore*, relativos ao dispositivo CAO, e os dos dispositivos *offshore*, relativos a dispositivos genéricos.

Na Figura 17 é analisada a relação de custo de investimento e produção por energia produzida. No documento CISEPI (2008), para além de terem sido apresentados dados de diversos casos de dispositivos *onshore* e *offshore*, foi também feito a média desses casos. Verifica-se que ambos os tipos de dispositivos apresentam valores de médias muito próximos, que rondam os 35-40 €/MWh. Estes valores são apenas indicativos, uma vez, que variam consoante o local de implementação.



**Figura 17** – Custos de investimento e produção por energia produzida

No documento CISEPI (2008), realça-se ainda, maior diferença de valores entre os dispositivos *onshore*, do que nos *offshore*. Não se poderá generalizar esta disparidade de valores, uma vez que, como já foi dito, são apenas valores indicativos, dependentes de vários factores.

Numa perspectiva de conhecer o número de horas, que os dispositivos poderão funcionar em pleno, na Tabela 8, é possível analisar, para os anos de 2007 a 2050, previsões de factores de carga, correspondentes à percentagem de horas num ano, em que um dispositivo genérico funciona em pleno.

Analizando apenas os custos de produção, segundo os dados apresentados por Neumann (2008), que num cenário actual indicam um custo de produção de cerca de 0.13 €/kWh, num cenário de baixa produção, os valores rondariam os 0.20 €/kWh e num cenário positivo, os custos de produção seriam de cerca de 0.06 €/kWh.



**Tabela 8** – Previsões de factores de carga para um dispositivo genérico  
(Soerensen, 2009)

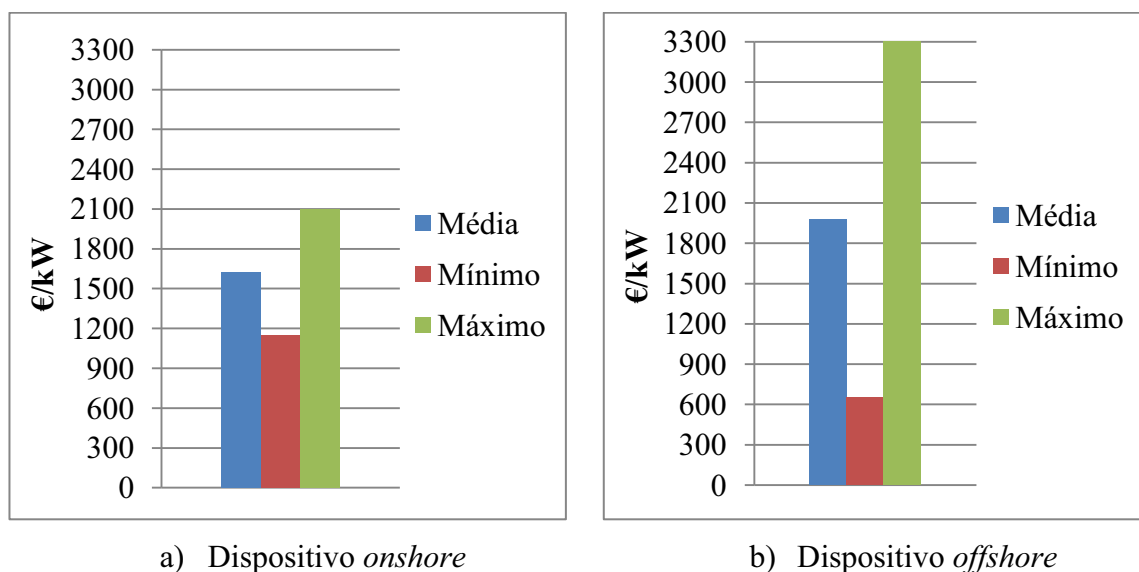
		2007	2010	2020	2025	2030	2040	2050
Factor de carga	%	34	34	39	41	43	45	47
Horas de pleno funcionamento	h	3000	3000	3450	3623	3795	3985	4144

Segundo Soerensen (2009), admitindo um factor de carga de 14 %, outras previsões de custos de produção são apresentadas na Tabela 9, em que para o ano de 2007, previsões muito optimistas apontam para valores da ordem dos 0.11 €/kWh. É de realçar, que com o passar dos anos (maturidade), os custos de produção por energia produzida vão diminuindo. Os valores apresentados por Neumann (2008) e Soerensen (2009) são relativamente próximos.

**Tabela 9** – Previsões de custo de produção por energia produzida (Soerensen, 2009)

Ano		2007	2025	2050
Muito optimista	€/kWh	0.11	0.05	0.03
Optimista-Realista	€/kWh	0.18	0.06	0.04
Pessimista	€/kWh	0.22	0.08	0.06

Por fim, na Figura 18 são comparados os custos de investimento e produção, na relação €/kW. Os valores dos dois tipos de dispositivos, nesta relação, exibem uma maior diferença, em que os dispositivos *offshore* apresentam custos de capital (investimento e produção) por potência produzida superiores.



**Figura 18** - Custos de investimento e produção por potência produzida

Tal como para os custos de produção por energia produzida, também em Soerensen (2009) são apresentados valores de previsões de custos de investimento por potência produzida (Tabela 10). Para o ano 2007, uma previsão optimista-realista, apontava para valores de cerca de 3000 €/kW.

Segundo o autor do documento CISEPI (2008), ter-se-á maior confiança na evolução dos custos investimento e produção quando expressos em termos de produtividade (€/MWh).

**Tabela 10** – Previsões de custo de capital por potência produzida (Soerensen, 2009)

Ano		2007	2025	2050
Muito optimista	€/kW	2800	1200	1000
Optimista-Realista	€/kW	3000	1500	1200
Pessimista	€/kW	3500	2000	1600

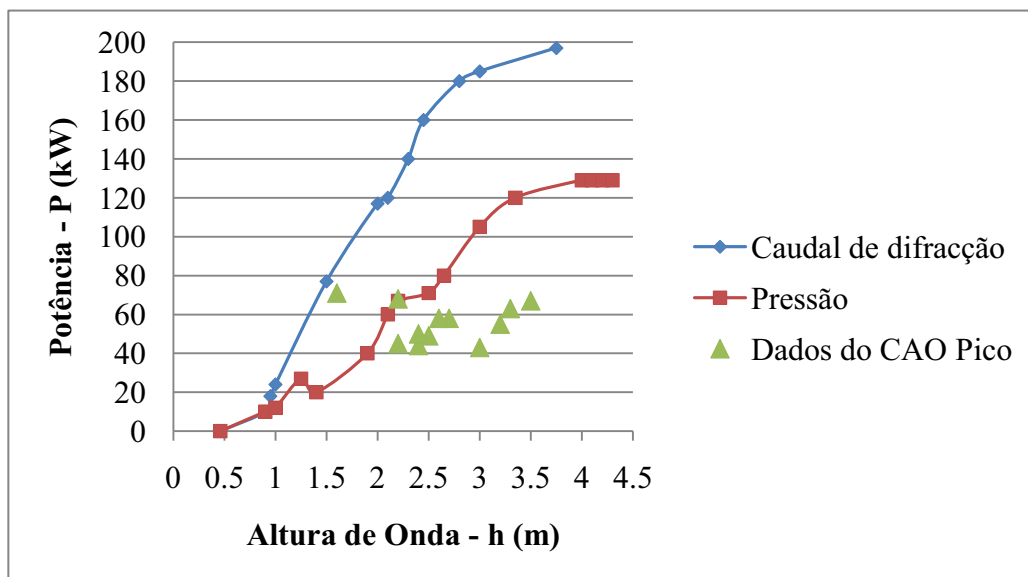
### 5.3. Potencial de produção por altura de onda

Após a análise dos custos de investimento e produção de dispositivos *onshore* e *offshore*, serão apresentados dados referentes à relação entre a potência produzida e a altura de onda que atinge os dispositivos CAO, Pelamis e AWS.

Relativamente ao dispositivo CAO, seguindo o estudo feito por Vilhena (2001) e comparando os valores com os dados apresentados por Sarmiento *et al.* (2006), é possível obter uma estimativa dos valores de potência para uma determinada altura de onda (Figura 19).

Vilhena (2001) referencia duas situações: o caudal de difracção e a pressão. No primeiro caso, a estrutura do CAO funciona como se a câmara estivesse em contacto com a atmosfera e na segunda situação existe pressão na câmara (diferente de zero). Note-se que para o primeiro caso, obtêm-se valores de potência superiores para as mesmas alturas de onda.

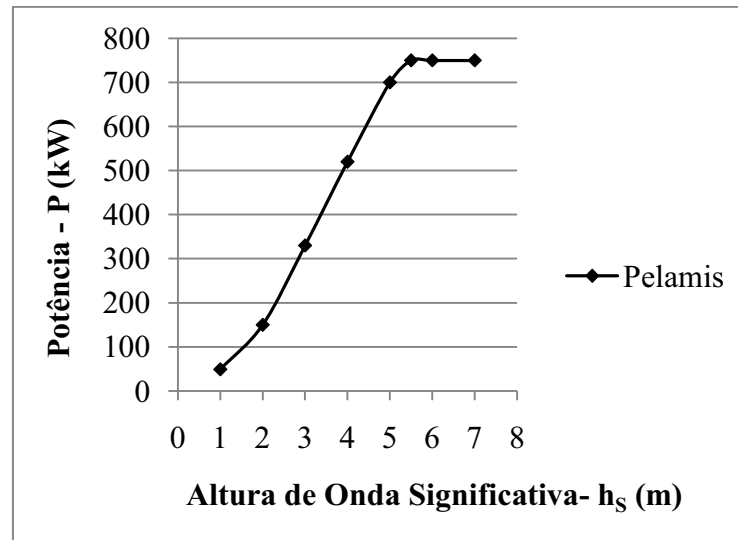
Os dados de Sarmiento *et al.* (2006) (terceira situação) referem-se aos testes realizados em 2005, no dispositivo CAO, implementado na Ilha do Pico, nos Açores, após o dispositivo ter sido restaurado. Nestes testes, os resultados obtidos não devem ser relacionados entre eles, uma vez que, os testes foram realizados em condições diferentes, tais como, variações de pressões (utilizando uma válvula de pressões) e variações da velocidade de rotação da turbina. No entanto, de forma, a poder comparar a informação com os dados de Vilhena (2001), no mesmo gráfico foram indicados os valores dos testes do dispositivo CAO do Pico.



**Figura 19** – Relação potência/altura de onda para o dispositivo CAO

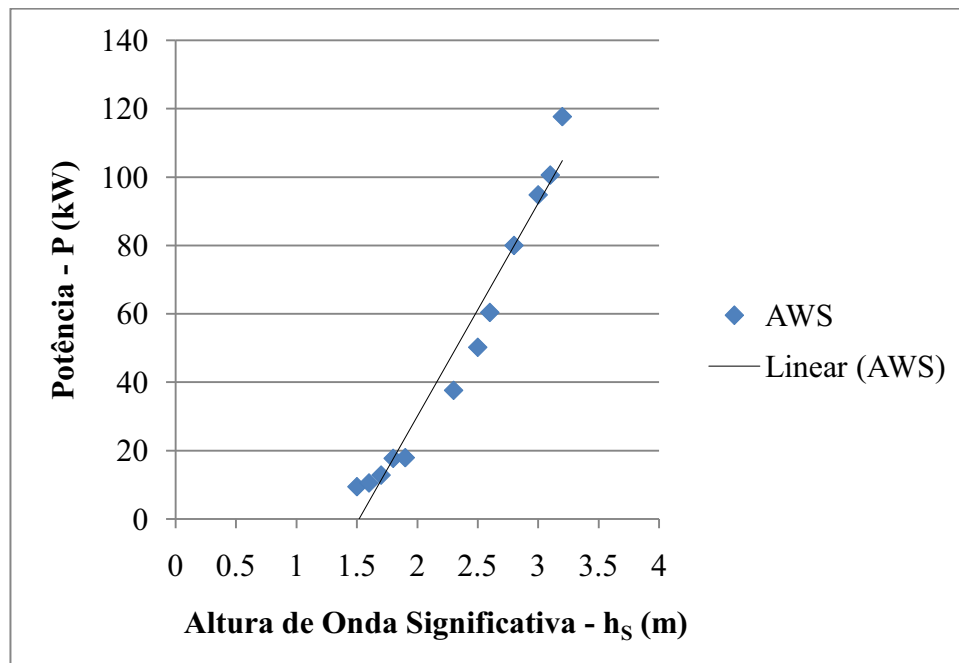
Na Figura 20, é demonstrada a relação da potência com a altura de onda para o dispositivo Pelamis. Verifica-se uma relação aproximadamente linear crescente, mas limitada à

potência de 750 kW, pelo que alturas de onda superiores a 5.5 m não proporcionam um acréscimo de potência (PWP, 2008).



**Figura 20** – Relação potência/altura de onda para o dispositivo Pelamis

Seguindo os dados apresentados por Valério *et al.* (2007), de testes realizados ao dispositivo AWS implementado em Portugal, na Figura 21, foi feita a mesma análise que nos anteriores dispositivos.



**Figura 21** – Relação potência/altura de onda para o dispositivo AWS

Estes testes realizados por Valério *et al.* (2007) tiveram como objectivo, analisar e avaliar diferentes controladores, de maneira a ajustar o melhor rendimento possível do dispositivo. Segundo Valério *et al.* (2007), os valores indicados, podem não representar valores de potência reais, assim, estes valores são relativamente inferiores aos que o dispositivo poderá gerar. Para além da representação gráfica dos dados de Valério *et al.* (2007), foi efectuado uma aproximação linear, permitindo obter a relação potência gerada por altura de onda significativa.

Comparando os gráficos dos três dispositivos, pode-se concluir que o Pelamis apresenta a melhor ordem de grandeza de produção. Por exemplo, para uma onda de 3 m, a potência gerada pelo dispositivo CAO será cerca de 140 kW (média das duas hipóteses), para o dispositivo Pelamis a potência ronda os 300 kW, enquanto que para o dispositivo AWS será cerca de 90 kW.

## 6. Implementação de um dispositivo na zona de Aveiro

Analisando os diversos factores que possam influenciar a implementação de um dispositivo de aproveitamento da energia das ondas e as características hidrográficas e batimétricas naturais da zona de Aveiro, nos subcapítulos seguintes serão avaliados e seleccionados os locais mais adequados a cada um dos três dispositivos estudados anteriormente.

### 6.1. Características hidrográficas

O Instituto Hidrográfico Português (IH) possui estações ondógrafo ao longo da costa portuguesa. Visto que não existe nenhuma estação ondógrafo em Aveiro, a bóia de Leixões serve de referência para Aveiro.

Segundo o Instituto Hidrográfico Português, nos últimos anos (2001-2008), as alturas significativas mais frequentes foram entre 1 e 3 m, verificando-se uma variação considerável nos meses de Inverno e Verão, onde as alturas significativas nos meses de Inverno apresentam valores superiores aos dos meses de Verão. No que diz respeito aos períodos das ondas, segundo os dados do IH, foram registados períodos médios entre os valores de 5 e de 11 s, notando-se nos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto) uma ligeira descida dos períodos máximos. Quanto aos rumos dominantes das ondas, nos últimos anos (2001-2008), os dados obtidos pelo IH para a bóia ondógrafo de Leixões, mostram uma predominância da direcção NW e WNW (IH, 2008).

Em comparação com os dados de Leixões, apresentam-se também dados referentes à Figueira da Foz, referidos por Reis *et al.* (2008). As alturas de onda significativas com mais frequência estão no intervalo entre 1-2 m, com uma frequência de ocorrências da ordem de 44%. Para alturas de onda significativa de 3.5 m, a frequência de ocorrência não ultrapassa os 10%. As alturas de onda máximas de maior ocorrência correspondem ao intervalo 2-3 m, com uma frequência de cerca de 32%, enquanto que, para ondas de altura de 1-2 m e 3-4 m a frequência ronda os 21%. Já ondas de altura máxima de 5 m ou superior apresentam frequências da ordem dos 14%. A máxima altura de onda significativa registada foi de 7.56 m, enquanto a altura de onda máxima, foi de 11.77 m. Em termos médios, a altura de onda significativa é de 1.98 m. Relativamente aos períodos de onda, o valor médio de maior frequência ocorre no intervalo 5-8 s, com

frequência da ordem dos 63%. Para períodos de 8-10 s, a frequência de ocorrência é cerca de 8%. Numa análise de dois locais próximos da Figueira da Foz, Penedo da Saudade e Cabo Mondego, a direcção de onda predominante registada foi WNW, com média de ocorrências de cerca de 65.5% (Reis *et al*, 2008).

**Tabela 11** – Alturas e período de onda, num ano típico de agitação (Coelho, 2005)

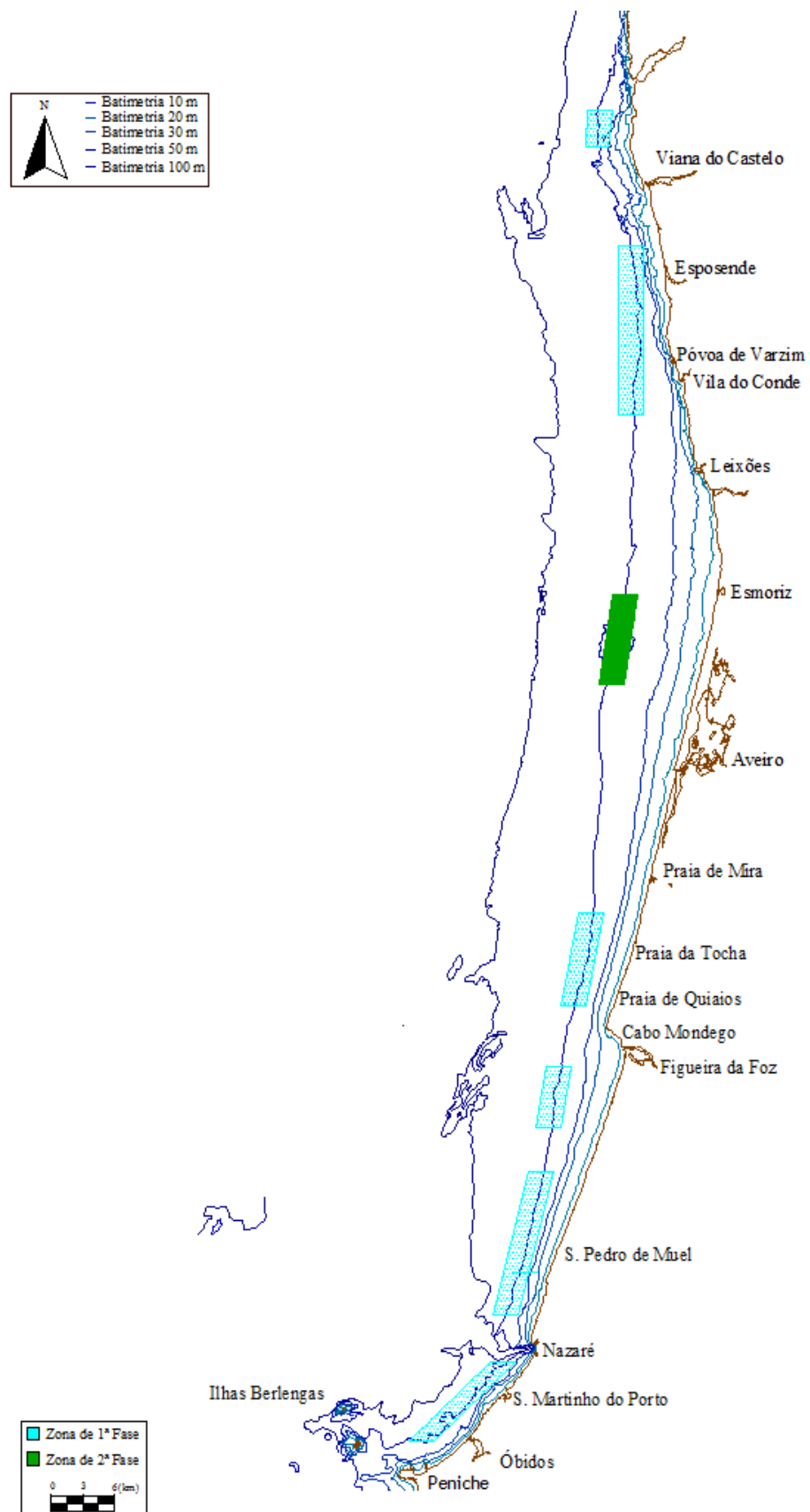
Classe de $H_S$ (m)	Ocorrência (%)	$H_S$ (m)	$T_{Hs}$ (s)
$\leq 1$	15.2	0.8	7.6
1 - 2	41.6	1.5	8.7
2 - 3	21.8	2.4	10.2
3 - 6	19.5	4.2	12.1
$> 6$	1.9	6.8	13.9

Na Tabela 11, são referidos os valores de alturas e períodos de onda para a zona de Aveiro, num ano típico de agitação, com base em dados do IH compilados por Coelho (2005), para o período de 1993 a 2003. Comparando com os valores apresentados anteriormente, verificam-se algumas semelhanças, onde alturas de onda entre 1-3 m correspondem às maiores ocorrências. Quanto aos períodos de onda, os valores mais frequentes, rondam a gama entre os 6-11 s.

## 6.2. Características batimétricas

Para a zona de Aveiro, a batimetria dos 50 m, encontra-se a uma distância média da costa de cerca de 13600 m, enquanto que a batimetria dos 30 m dista da linha de costa cerca de 6400 m. Para as batimetrias 20 e 10 m, as distâncias médias à costa são 4270 e 1370 m. Para uma melhor visualização da distribuição batimétrica desta zona, poderá ser analisada a Figura 22.

Relativamente à caracterização dos fundos, para a batimetria dos 50 m, a zona Douro-Aveiro é composta por cerca de 75 % de areia e 25 % de zona rochosa, enquanto que os fundos da zona Aveiro-Figueira da Foz são constituídos apenas por areia (WEC, 2004). Deste modo, a profundidade de enterramento dos cabos eléctricos submarinos, usados no transporte de energia terá de ser relativamente grande, uma vez que estas zonas apresentam fundos de fraca resistência e facilmente as camadas superficiais são removidas podendo provocar danos nos cabos.



**Figura 22** – Locais de possível implementação de dispositivos na costa Noroeste Portuguesa



### **6.3. Zonas de implementação**

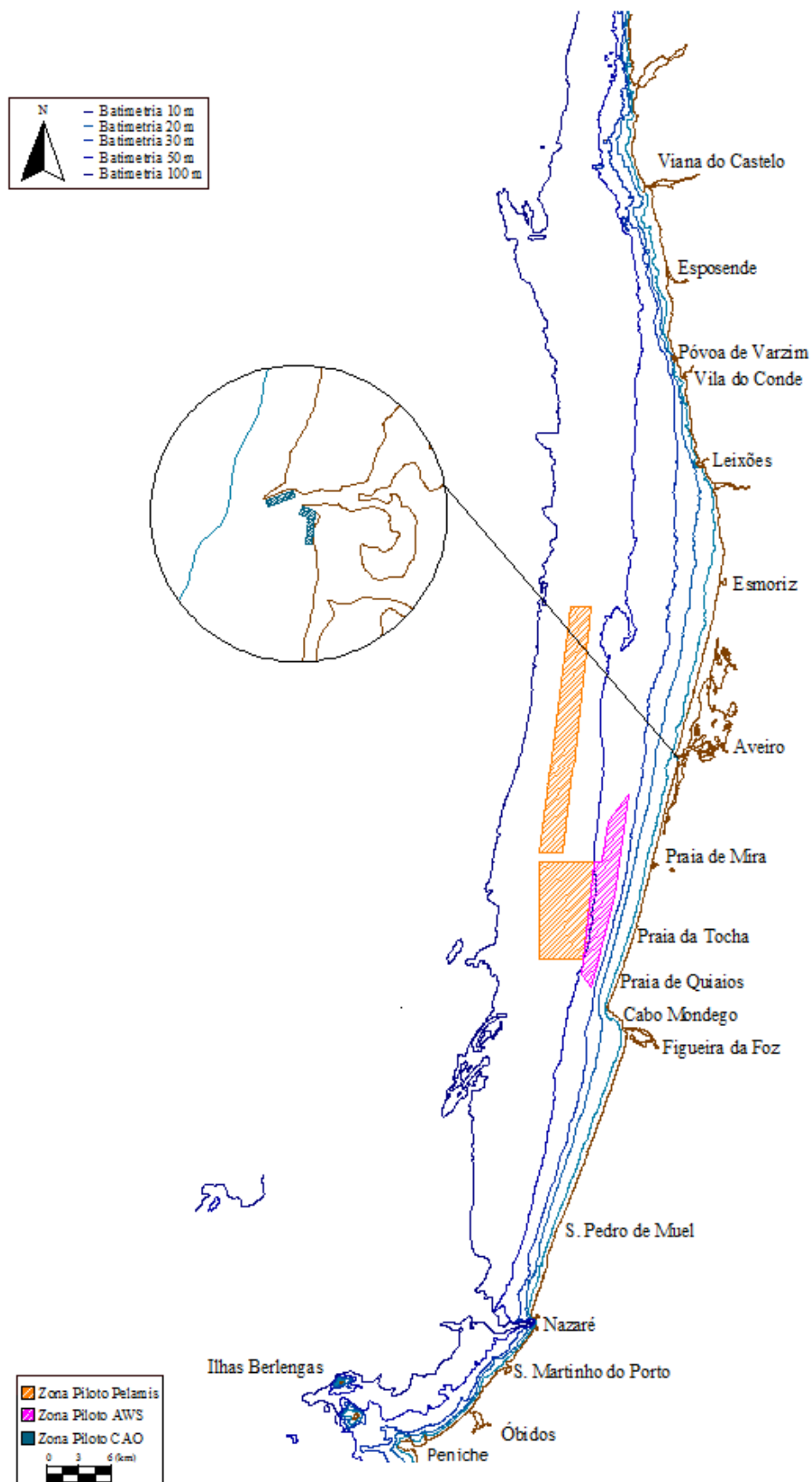
Na região de Aveiro podem-se atribuir duas zonas de possível implementação dos parques de ondas (WEC, 2004). A zona de 1ª fase (prioritária), que corresponde a áreas sem qualquer interferência de usos e a zona de 2ª fase, com eventuais conflitos de usos (nomeadamente com a pesca de arrasto), o que implica a adopção de medidas específicas para minimização do conflito de usos (WEC, 2004). A figura 22 permite a visualização destas zonas.

Após analisadas as zonas de conflitos de uso (já apresentados na Figura 15), os locais de possível implementação referidos no relatório elaborado pela Wave Energy Centre (de acordo com a Figura 22), as características de funcionamento de cada dispositivo e tendo em conta as características hidrográficas e batimétricas, na Figura 23 são apresentadas possíveis zonas piloto para os dispositivos CAO, AWS e Pelamis.

Sendo o dispositivo Pelamis um sistema que funciona a profundidades entre os 50-70 m, respeitando as zonas de pescas por arrasto e o acesso a portos, na Figura 23, é indicado a laranja a zona onde eventualmente poderá ser implementado esta zona piloto. Esta área estende-se por duas zonas, compreendendo um valor total de cerca de 96 km<sup>2</sup>. No que se refere ao dispositivo AWS, este é instalado em profundidades que rondam os 40-80 m, e na Figura 23, corresponde à zona a roxo. No caso da figura, adoptou-se uma zona mais próxima da costa do que para o Pelamis, perfazendo uma área de 26 km<sup>2</sup>. Para o dispositivo CAO, por ser implementado na costa, por necessitar de uma profundidade de frente, de cerca de 5-8 m e de forma a não criar impactos visuais em zonas de lazer (praias), foram sugeridas as zonas à azul para possíveis locais de implementação (zonas perto dos quebra-mares do porto de Aveiro).

### **6.4. Potencial Energético**

Uma vez que na aproximação à costa, as ondas sofrem fenómenos como a refacção ou o empolamento que alteram as suas características, as ondas ao largo apresentam intensidades superiores, mas alturas inferiores, relativamente à costa, ou seja possuem maior energia cinética e menor energia potencial.



**Figura 23** – Possíveis zonas piloto de implementação dos dispositivos Pelamis, AWS e CAO

Não se possuindo dados relativos a agitação marítima junto à costa, foram analisados os dados ao largo de Coelho (2005), apresentados já na Tabela 11. Assim, com base na relação entre a potência produzida pelos diversos dispositivos e a altura de onda, foi possível chegar a valores totais de energia, para um ano típico de agitação em Aveiro (Tabelas 12, 13 e 14).

**Tabela 12** – Potencial energético de um dispositivo CAO para um ano típico de agitação em Aveiro

Classe de Hs (m)	Hs (m)	Potência (kW)	Ocorrência (%)	Horas	E <sub>Total</sub> (kWh)
≤ 1	0.8	15	15.2	8760	19973
1-2	1.5	78	41.6	8760	284244
2-3	2.4	160	21.8	8760	305549
3-6	4.2	200	19.5	8760	341640
> 6	6.8	200	1.9	8760	33288
Σ					1164449

Seguindo os dados do caudal de difracção na relação potência/altura de onda apresentados na Figura 19 e aplicando ao clima de agitação típico, na Tabela 12, pode-se analisar o potencial energético do dispositivo CAO. O valor da energia total deste dispositivo, rondaria neste caso os 1165 MWh. Verifica-se que todas as classes de ondas entre 1 m e os 6 m apresentam potenciais energias a produzir na mesma ordem de grandeza.

**Tabela 13** – Potencial energético de um dispositivo Pelamis para um ano típico de agitação em Aveiro

Classe de Hs (m)	Hs (m)	P (kW)	Ocorrência (%)	Horas	E <sub>Total</sub> (kWh)
≤ 1	0.8	50	15.2	8760	66576
1-2	1.5	100	41.6	8760	364416
2-3	2.4	200	21.8	8760	378432
3-6	4.2	510	19.5	8760	871182
> 6	6.8	750	1.9	8760	124830
Σ					1441020

No caso do dispositivo Pelamis, o potencial de produção de energia num ano típico é superior. Neste caso (Tabela 13), a classe de ondas entre os 3 e os 6 m de altura tem um

potencial energético que se destaca, pois a potência associada e a frequência de ocorrência destas ondas maximizam a produção energética.

Seguindo o processo dos dispositivos anteriores, na Tabela 14, são apresentados dados referentes ao potencial energético de um dispositivo AWS, num ano típico. Em comparação com os outros dispositivos, na análise do AWS, obtiveram-se valores relativamente inferiores, o que poderá dever-se aos dados obtidos em Valério *et al.* (2007), não corresponderem aos valores de potência reais gerados pelo dispositivo. Na análise que se apresentou na Figura 21, as ondas de menor altura não têm potência que possa ser aproveitada.

**Tabela 14** – Potencial energético de um dispositivo AWS para um ano típico de agitação em Aveiro

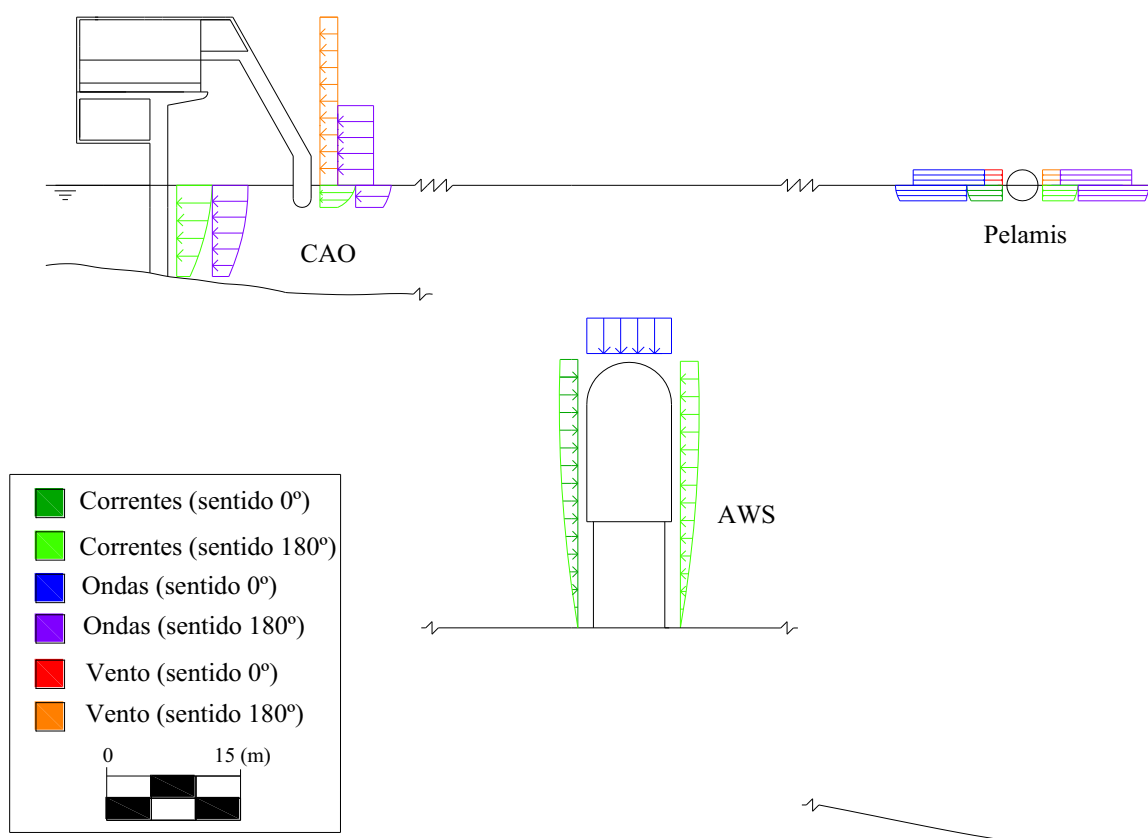
Classe de Hs (m)	Hs (m)	Potência (kW)	Ocorrência (%)	Horas	E <sub>Total</sub> (kWh)
≤ 1	0.8	-	15.2	8760	-
1-2	1.5	14	41.6	8760	51018
2-3	2.4	65	21.8	8760	124129
3-6	4.2	103	19.5	8760	175944
> 6	6.8	103	1.9	8760	17143
Σ					368234

## 6.5. Dimensionamento do dispositivo

Após analisadas as características de cada dispositivo, pretende-se neste capítulo quantificar as cargas a que os dispositivos estão sujeitos (vento, correntes e ondas), os modos de fixação/fundação, os sistemas de transporte de energia e os eventuais impactos no natural transporte sedimentar existente nas zonas costeiras, para que, de alguma forma, se consiga ter uma ideia mais concreta do dimensionamento de um dispositivo.

### 6.5.1. Estrutura

Na Figura 24, estão representados os três dispositivos em estudo. Nesta representação pode ser analisada a disposição esquemática dos dispositivos no mar, a relação das suas dimensões e as cargas a que estão sujeitos.

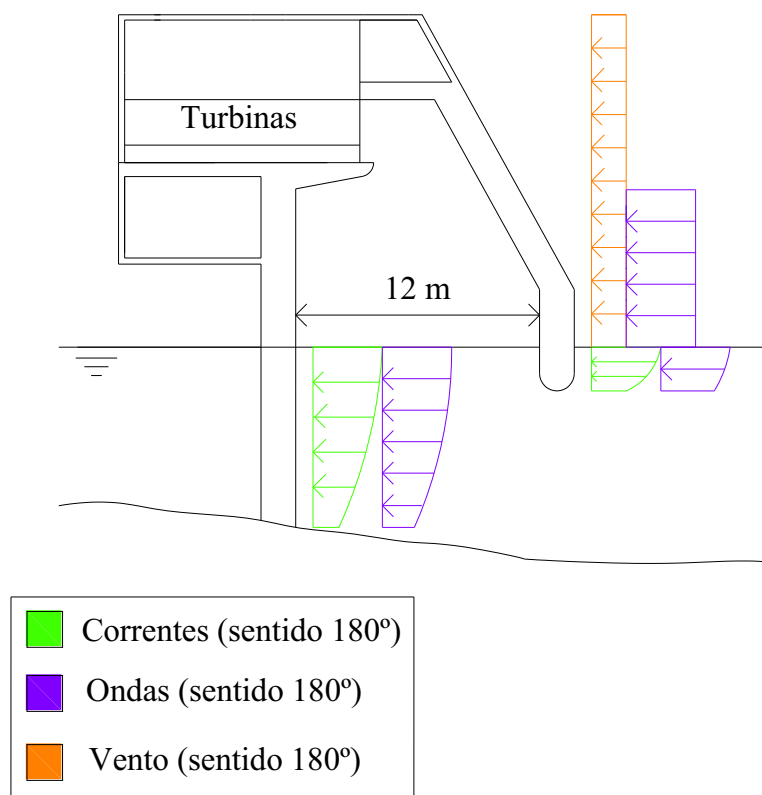


**Figura 24** – Disposição esquemática dos dispositivos no mar e relação das acções a que estão sujeitos

Nesta análise das acções, consideraram-se apenas as acções dinâmicas que incidem sobre o dispositivo, nomeadamente, as ondas, as correntes e o vento, facilitando uma comparação dos dispositivos. Na análise não se engloba o peso próprio dos equipamentos.

Devido a processos de empolamento e refacção, o recurso energético das ondas vai diminuindo com o aproximar da costa. Para o dispositivo CAO, ao estar implementado na costa, a intensidade das cargas será menor, relativamente ao largo. Para além das ondas exercerem cargas na parte emersa do dispositivo, também na parte imersa essas cargas são sentidas, embora de forma decrescente com a profundidade, uma vez que o efeito da onda, se faz sentir até uma profundidade de cerca de 20 m (agitação das partículas da água). O efeito da onda faz-se sentir com maior intensidade na parte frontal do dispositivo, uma vez que este, geralmente está integrado numa zona rochosa (limitado lateralmente). As cargas resultantes das correntes (marés e ondas) também diminuem com a profundidade, fazendo-se sentir nas partes imersas do dispositivo.

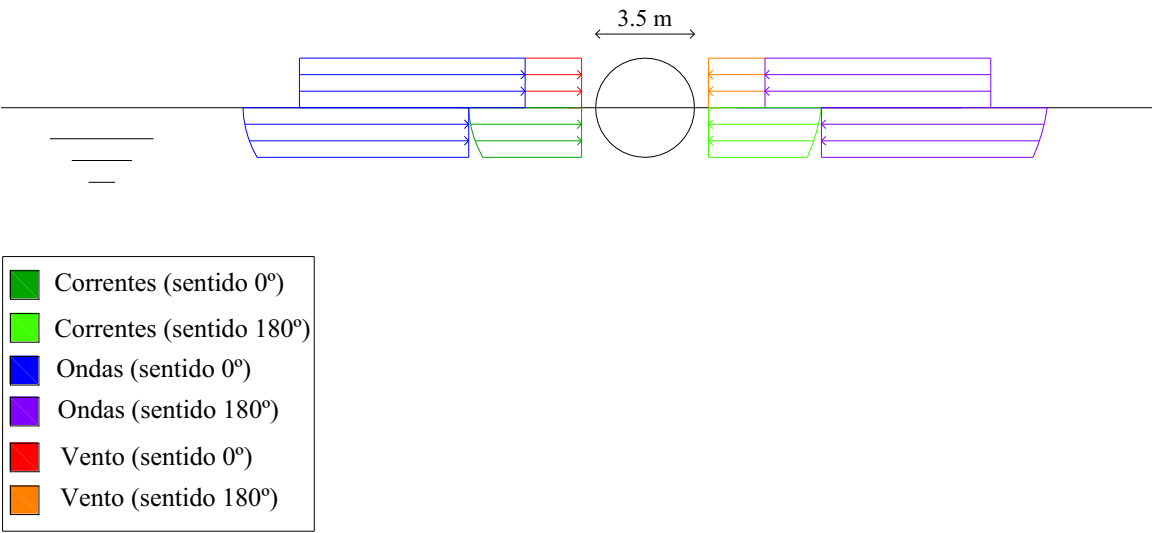
O vento é outro tipo de carga exercida nas partes emersas do dispositivo CAO, sendo a sua distribuição considerada uniforme ao longo do dispositivo (Figura 25).



**Figura 25** – Cargas exercidas no dispositivo CAO

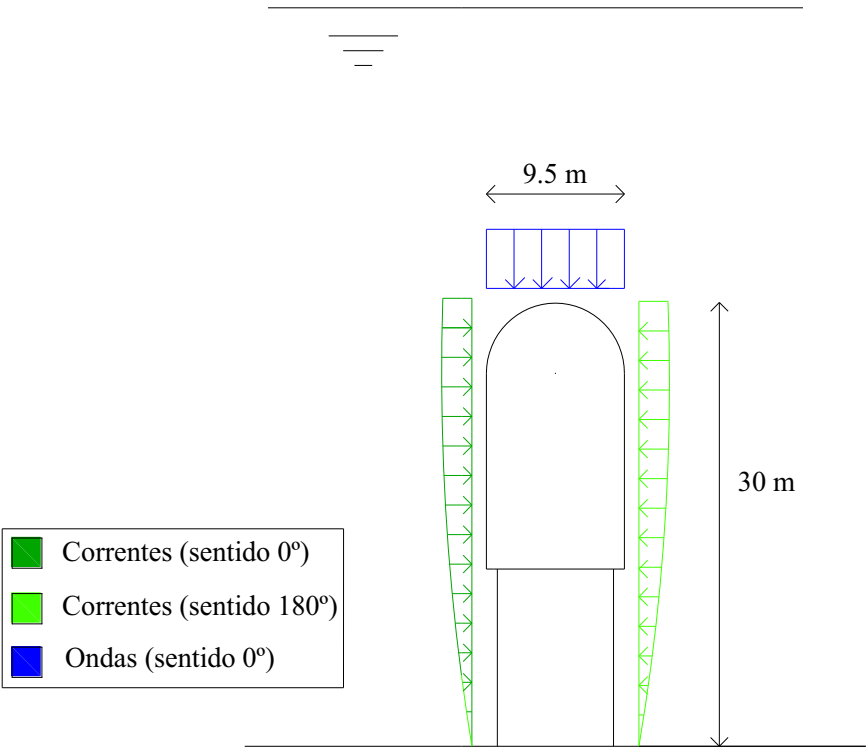
A Figura 26 retrata o dispositivo Pelamis e as cargas sobre ele exercidas. Este sistema, por ser implementado ao largo da costa, está em contacto com forças de maior intensidade relativamente aos sistemas *onshore*. Na sua parte emersa, o dispositivo está sujeito às forças das ondas e do vento. O dimensionamento do dispositivo deve considerar bem estas forças, principalmente as das ondas, uma vez que, apresentam intensidades elevadas e podem originar instabilidade no dispositivo. Na parte imersa, as forças a actuarem no dispositivo são as ondas, que provocam agitação das partículas da água, e as correntes e a sua intensidade diminui com a profundidade. No caso, por o dispositivo apresentar reduzidas dimensões, a variação das intensidades é pequena.

Ao estar totalmente imerso, no dispositivo AWS, as forças exercidas pelo vento não se fazem sentir (Figura 27). Como este dispositivo se encontra implementado no fundo oceânico, as correntes fazem-se sentir com menor intensidade, relativamente à superfície da água.



**Figura 26** – Cargas exercidas no dispositivo Pelamis

No entanto, por apresentar uma altura da ordem dos 30-40 m, na zona do flutuador (parte superior do dispositivo) são exercidas cargas significativas. Como o dispositivo é simétrico em relação a um eixo vertical, as cargas exercidas em sentidos opostos, compensam-se.



**Figura 27** – Cargas exercidas no dispositivo AWS

Como este dispositivo funciona através da pressão da água exercida no flutuador (acima do dispositivo), as cargas resultantes das ondas vão variando, consoante a passagem da onda. Na fase em que a crista da onda passa, ocorre um acréscimo de carga (aumenta a quantidade de água acima do dispositivo), exercendo uma força de compressão sobre o flutuador. Por outro lado, na fase da cava da onda, esse acréscimo deixa de ser exercido e desta forma, a resultante das forças no flutuador é ascendente.

### **6.5.2. Fixação/Fundação**

Para o funcionamento correcto dos dispositivos implementados ao largo da costa (submersos, semi-submersos e flutuantes) há que garantir a estabilidade dos dispositivos. Para tal, é necessária a aplicação de sistemas de ancoragem. Devido à falta de informação relativa a sistemas de ancoragens aplicados a dispositivos de aproveitamento da energia das ondas, foi feita uma analogia aos sistemas aplicados em plataformas petrolíferas e navios.

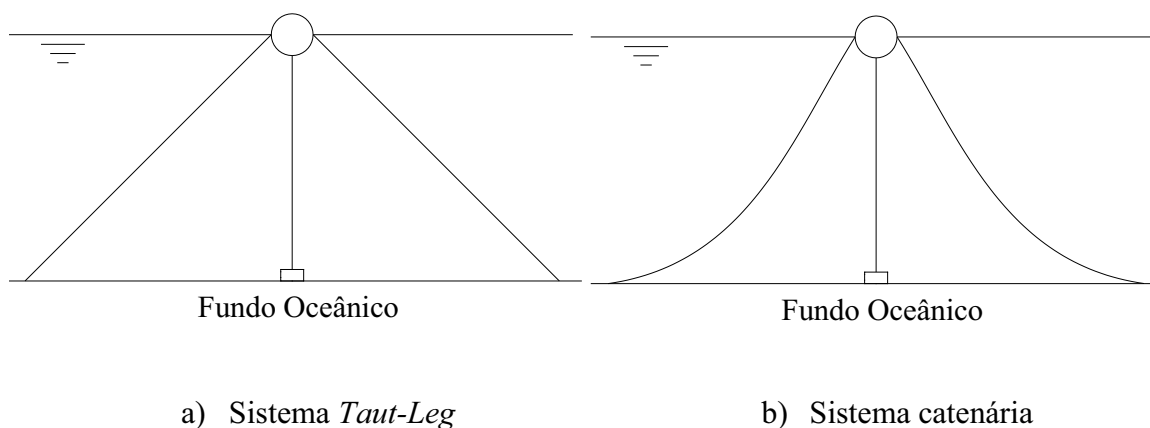
As linhas de ancoragem são estruturas esbeltas dispostas em catenária, *taut-leg* ou tendões. A sua principal função é fornecer as forças necessárias para manter os dispositivos em posição de equilíbrio (estabilidade) (PUC, 2009).

A ancoragem em catenária é uma técnica convencional utilizada em plataformas petrolíferas e navios, tem a vantagem de permitir maior liberdade de movimento ao dispositivo (quer projecção vertical, quer horizontal), sem provocar elevados esforços na amarração ao fundo oceânico (âncoras). Este sistema (Figura 28b), por possuir um raio de ancoragem razoável, em que a linha de ancoragem é pouco traccionada (tem alguma liberdade), tem os esforços nas âncoras aliviados. Por exemplo, nos sistemas semi-flutuantes e flutuantes, na situação de transição da cava da onda, para a crista da onda, se a onda possuir uma altura considerável, o sistema de fixação deverá de alguma forma, dar liberdade de movimento ao dispositivo, para que não se criem elevados esforços de tracção, que levem à rotura. Por outro lado, na situação contrária, passagem da crista da onda para a cava da onda, a folga que o sistema de fixação permitiu ao dispositivo, agora terá que a recolher, para que se dê o ajuste entre o dispositivo e a ancoragem, de forma a que o dispositivo não ande à deriva. As suas principais desvantagens são a interferência com outras linhas de ancoragem (próximas) e eventuais



conflitos de uso (já mencionados na análise de impactos dos dispositivos *offshore*) (PUC, 2009).

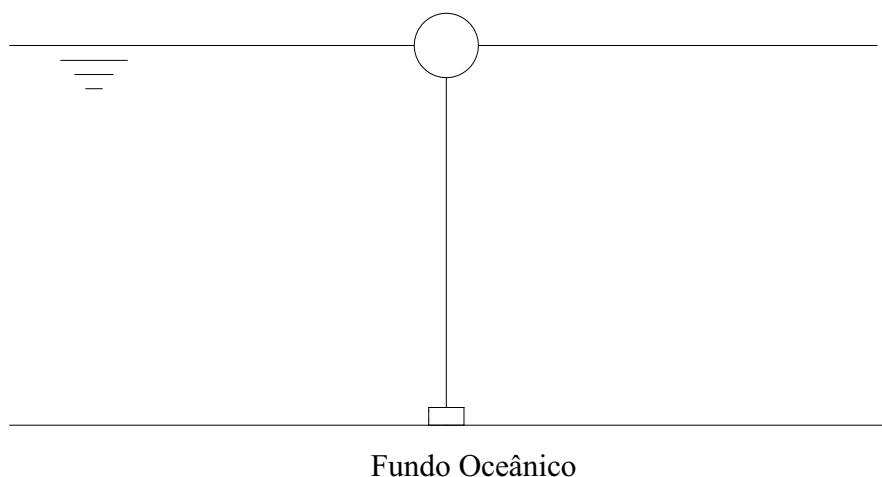
Para contornar as desvantagens do sistema em catenária utiliza-se a ancoragem em *taut-leg*. Neste sistema (Figura 28a), a linha de ancoragem encontra-se mais traccionada, fazendo um ângulo de aproximadamente  $45^\circ$  com a vertical, limitando assim, os movimentos do dispositivo. Neste caso, as âncoras necessitam de resistir a valores de tensões superiores (PUC, 2009). Tal como no sistema catenária, no sistema *taut-leg*, deverá ser desenvolvida uma forma de ajuste dos cabos de ancoragem, consoante o movimento dos dispositivos, de forma, a existir sempre uma força de tracção no cabo.



**Figura 28** – Sistemas de amarração

Na Figura 29, está representado outro tipo de ancoragem, a ancoragem vertical, constituída por tendões verticais (linhas de ancoragem). Este sistema é utilizado, em dispositivos sujeitos a forças de impulsão elevadas, onde os tendões verticais necessitam de estar sempre traccionados. Os tendões podem ser constituídos por cabos de aço ou por material sintético, proporcionando uma elevada rigidez no plano vertical e baixa rigidez no plano horizontal (PUC, 2009).

Os materiais mais utilizados na construção destas linhas de ancoragem são amarras de aço (correntes), cabos de aço e, mais recentemente, cabos de poliéster. As amarras são utilizadas geralmente nos trechos iniciais e finais das linhas, já que este material é mais resistente ao atrito com o fundo do mar e com os guinchos dos dispositivos (PUC, 2009).



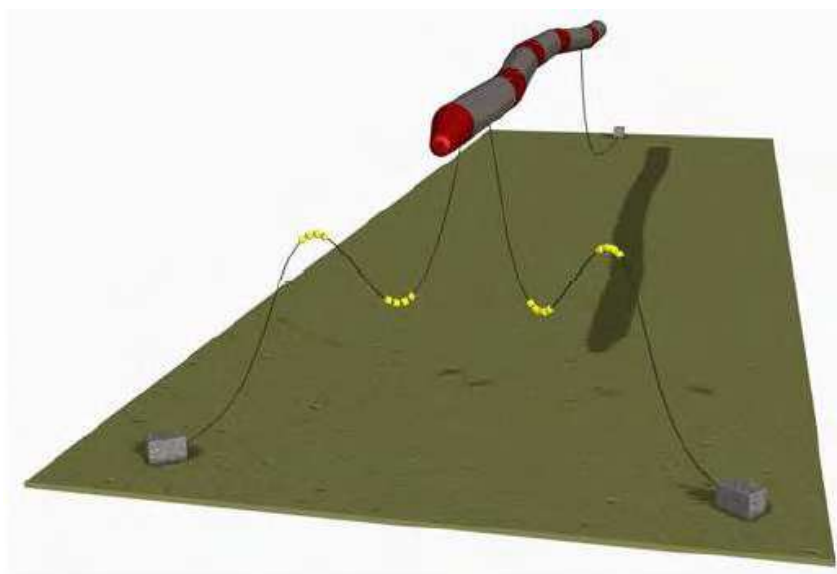
**Figura 29** – Sistema de ancoragem vertical (tendões)

Nos dispositivos *onshore*, caso do CAO, a sua fixação é na costa, o dispositivo é integrado num maciço rochoso ou num quebra-mar e não necessita de sistemas especiais de fixação.

Desta análise a sistemas de ancoragem, pode-se verificar que, para o dispositivo Pelamis, o sistema que melhor se enquadra nas características é a catenária, como se pode observar na Figura 30. Este dispositivo por ser semi-flutuante e por necessitar de alguma liberdade de movimento, em diferentes direcções, não pode estar limitado.

No entanto, deveriam ser feitos alguns ajustes, adaptando os sistemas de ancoragem aos sistemas de aproveitamento da energia das ondas. De forma a melhorar o funcionamento do dispositivo, poderão ser adaptados diferentes sistemas de ancoragem (ancoragens mistas). Por exemplo, no caso do Pelamis, conjugar o sistema catenária com o dos tendões. No caso do AWS, visto este dispositivo estar sujeito constantemente a forças de impulsão e de compressão e sendo um dispositivo submerso, talvez o sistema mais indicado fosse a ancoragem vertical (tendões). Esta solução evita interferências entre linhas de ancoragem de outros dispositivos pertencentes ao mesmo parque de ondas, uma vez que, as distâncias entre dispositivos não são muito grandes.

A fundação das ancoragens destes sistemas de aproveitamento da energia das ondas deverá ser numa zona de fundo rochoso, resistente, de tal forma que apresente resistência suficiente para aguentar as tensões nas ancoragens. No caso de não ser possível, deverá ser aplicado um sistema de reforço da fundação, utilizando por exemplo reforço metálico ou um sistema de estacas de ancoramento.



**Figura 30** – Sistemas de fixação do dispositivo Pelamis (Cruz e Sarmiento, 2004)

### 6.5.3. Impacto no transporte sedimentar

Na dinâmica sedimentar que ocorre ao longo da costa, que resulta da interacção entre ondas, correntes e sedimentos, pode-se definir uma zona de maiores variações que corresponde à zona do perfil transversal activo e que se desenvolve até à profundidade de fecho.

Sendo a profundidade de fecho na costa oeste Portuguesa, cerca de 16-18 m, o local onde ocorre a sedimentação, não abrange os dispositivos *offshore*, pelo que apenas poderá trazer implicações mais significativas nos dispositivos *onshore* e *nearshore*. No entanto, poderá haver dispositivos *offshore* que alterem as características das ondas, influenciando o transporte sedimentar nas zonas *nearshore* e *onshore*.

O dispositivo CAO, sendo um sistema *onshore*, quando implementado no maciço rochoso, não apresenta impactos no transporte sedimentar. No entanto, nas zonas imersas do dispositivo poderá funcionar como barreira ao natural transporte e poderá ocorrer acumulação de sedimentos nas imediações e de alguma forma, alterar o funcionamento do sistema.

O dispositivo Pelamis, por ser um sistema *offshore* e a altura da parte emersa ser relativamente pequena, provocará reduzidos ou mesmo nulos impactos no transporte sedimentar. Relativamente ao outro dispositivo *offshore*, o AWS, poderá implicar maiores impactos, uma vez que, apesar de ser implementado a grandes profundidades,

este é submerso e apresenta grandes alturas. Um parque de ondas constituído por vários dispositivos AWS, poderá influenciar a propagação das ondas para a costa e desta forma alterar o transporte sedimentar. No limite, este sistema poderá até se assemelhar a um recife artificial. Nas grandes profundidades, a dinâmica sedimentar é menos intensa, mas o parque de ondas poderá também originar a acumulação de sedimentos junto aos dispositivos, podendo por outro lado, interferir no funcionamento dos mesmos.

Em qualquer dos casos, esta interferência no transporte sedimentar, poderão modificar as zonas costeiras, alterando as batimetrias e o clima de agitação local.

#### **6.5.4. Sistema de transporte da energia**

O transporte da energia gerada nos dispositivos, até à rede eléctrica é feito utilizando o sistema de cabos eléctricos submarinos. Este processo é bastante dispendioso e requer cuidados especiais, quer na escolha do traçado, quer durante a instalação, de forma a não provocar danos. Os tipos de danos que podem ocorrer nos cabos submarinos são diversos, e podem resultar de causas naturais, tais como correntes e ondas, ou resultantes da actividade de pesca de arrasto ou do ancoramento de navios no mar (usualmente em profundidades inferiores a 50 metros).

Para minimizar a ocorrência de danos nos cabos submarinos são habituais dois tipos de procedimentos: evitar as zonas de desgaste (zonas de rebentação de ondas e zonas de pesca e ancoramento intensas) e promover o enterramento dos cabos até profundidades de água da ordem dos 50 metros de profundidade (a partir da qual a acção das ondas e correntes é menor, a pesca de arrasto é pouco intensa e o ancoramento dos navios pouco frequente). Dependendo da dureza do fundo, a profundidade de enterramento dos cabos varia, ou seja quanto mais duros forem os fundos, mais difícil é enterrar os cabos. Em locais de excessiva dureza, onde é difícil enterrar os cabos (zonas rochosas), normalmente os cabos são revestidos por tubos metálicos (WEC, 2004).

A colocação dos cabos eléctricos requer um planeamento cuidado do traçado do cabo, tendo em conta as zonas de possível navegação, um planeamento da sua sinalização, um levantamento detalhado das características dos fundos e a localização das ligações à rede eléctrica, de forma a se conseguir criar uma hipotética rede eléctrica submarina. Uma das empresas com maior experiência nacional na colocação e exploração deste tipo de componentes é a empresa Marconi (WEC, 2004).

## **7. Considerações finais**

### **7.1. Conclusões**

Com a maior consciencialização sobre os problemas ecológicos da degradação do meio ambiente, com o elevado consumo energético mundial e com o facto de mais tarde ou mais cedo, as fontes convencionais de energia (energias não renováveis) se esgotarem, as energias não poluentes e renováveis têm vindo a assumir um papel cada vez maior na política energética dos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento. Possuindo um recurso energético imenso, o oceano, poderá ser uma das soluções que responda às necessidades energéticas crescentes a nível mundial. No entanto, por ser uma tecnologia recente, encontra-se em fase de desenvolvimento, o que leva inicialmente a elevados investimentos.

Um dos problemas destas formas de aproveitamento da energia dos mares, especialmente nos sistemas de aproveitamento da energia das ondas, é a grande variação dos níveis de potência disponível, em curtos intervalos de tempo. Assim, não é possível uma geração de energia constante, apresentando picos de potência disponível, que de alguma maneira poderão criar problemas nos sistemas geradores, tendo estes de se adaptar a essas variações.

Da análise dos sistemas de aproveitamento da energia das marés, aproveitando os desníveis da superfície livre da água, concluiu-se que apresentam alguns constrangimentos, tais como investimento de capitais muito elevados e período de instalação muito longo (cerca de 10 anos). Em comparação com estes sistemas, a tecnologia utilizada nas correntes de maré, não apresenta custos e impactos ambientais tão elevados. No entanto, esta tecnologia, para um correcto funcionamento e aproveitamento ideal, necessita de velocidades de corrente de cerca de 2.25-2.5 m/s, o que no caso português é difícil de obter. Assim, pela pesquisa e análise das diferentes formas de aproveitamento da energia dos mares, conclui-se que os sistemas de aproveitamento da energia das ondas relativamente às outras formas de captura de energia são os que podem proporcionar melhor rentabilidade. Desta forma, o documento abrangeu mais em pormenor o estudo desta tecnologia.

Analisando o caso Português, verificou-se que Portugal possui um elevado recurso energético, sendo o quarto país da União Europeia que apresenta maiores valores de percentagem da energia renovável, nas previsões a atingir até 2010. No que se refere a

energia das ondas, verifica-se que ainda é uma aplicação inexperiente, visto que os seus sistemas de geração e a sua legislação são bastantes restritos e precoces. Para que os objectivos previstos sejam atingidos, e de forma, a tornar esta tecnologia, numa tecnologia madura e economicamente competitiva, serão necessários apoios da parte do governo, quer a nível económico, quer a nível legislativo e processual.

Da análise feita a impactos na implementação dos dispositivos de aproveitamento das ondas, foi concluído que os impactos positivos são bastante mais relevantes que os negativos. Os impactos negativos poderão considerar-se relativamente pequenos, uma vez que, respeitando os locais de possíveis conflitos de interesses, o impacto negativo que os dispositivos podem causar serão visuais ou ao nível do ruído. Em termos de benefícios ambientais, o que estes sistemas poderão proporcionar é bastante superior aos impactos negativos que poderão originar.

Este tipo de sistemas originará elevados impactos positivos no país, quer a nível energético, quer económicos, tais como a diminuição gradual da importação de energia (menor dependência das energias fósseis), que por consequência levaria à redução do custo da mesma, o elevado envolvimento e interacção entre empresas, a criação de postos de trabalho, entre outros.

Analizado o estudo económico dos vários dispositivos, poderá verificar-se que quanto maior for o número de dispositivos instalados, maior será a maturidade desta tecnologia, o que por outro lado permitirá uma diminuição dos custos quer de implementação, quer de produção (custos unitários). A escolha de um dispositivo “ideal” é uma tarefa difícil de realizar, uma vez, que neste momento, não é correcto definir um dispositivo “ideal”, pois para além da tecnologia ainda se encontrar em desenvolvimento, e de não se possuir dados concretos, a viabilidade de cada um, depende também do local onde é implementado e das condições que este possibilita. Mesmo assim, da comparação dos três dispositivos, considerados mais adequados (CAO, Pelamis e AWS) pode-se concluir que, o dispositivo AWS demonstra ser o que apresenta as melhores condições para ser implementado e possibilitar a melhor rentabilidade possível, quer em termos económicos, quer de potência. O dispositivo Pelamis tem o inconveniente de ocupar uma grande área, quando constitui um parque de ondas.

Este trabalho, constitui uma base teórica, de recolha de informação e não apresenta uma parte prática de aplicação, devido à falta de elementos para o fazer, e a limitação de meios e tempo. No entanto, pode contribuir para desenvolvimentos futuros do tema, uma vez, que foram frisados diversos aspectos importantes, que com maiores

conhecimentos e tempo, poderão ser de alguma forma, desenvolvidos com maior pormenor. Numa altura em que o investimento público é bastante importante, a necessidade energética e a preocupação ambiental crescentes, Portugal deveria investir mais nestas energias renováveis explorando o seu recurso energético elevado.

## **7.2. Desenvolvimentos futuros**

No trabalho realizado, devido à complexidade de quantificar as acções dinâmicas envolvidas nas estruturas, não foi possível dimensionar a estrutura dos dispositivos. Assim, seguindo a análise qualitativa já realizada, poderá ser desenvolvido futuramente um estudo mais pormenorizado relativo a dimensionamento de dispositivos.

Para além do dimensionamento estrutural do dispositivo, deverá ter-se em conta a envolvente. Assim, outro assunto de possível interesse a desenvolver, seria o impacto dos dispositivos no transporte sedimentar, não só como barreira física ao escoamento das areias (em alguns casos), mas também como forma de alteração das características das ondas e consequentemente da sua capacidade de transporte sólido. Esta análise é bastante importante, uma vez que, não se sabe até que ponto, o transporte sedimentar possa influenciar no funcionamento dos dispositivos (dispositivos submersos e próximos do fundo oceânico).

A optimização das componentes dos dispositivos, quer relacionados com a produção da energia, quer com o respectivo transporte até à zona do litoral permite ainda um vasto campo de investigação. Compreender melhor o funcionamento dos dispositivos, procurar as melhores soluções para rentabilizar a produção, são opções de futuros trabalhos. A escolha do percurso dos cabos eléctricos, que transportam a energia dos dispositivos até à zona do litoral, é outro assunto a explorar, uma vez, que constitui uma parte considerável dos custos de implementação de um dispositivo e pode originar conflito de usos.

Considera-se que, no seguimento deste trabalho, aproveitando as análises feitas e explorando alguns assuntos, poderá ser desenvolvido um trabalho de aplicação mais prático, no qual, se refira o dimensionamento de um ou mais dispositivos, podendo este trabalho servir de base e consulta.

## Referências bibliográficas

ADENE e AREAC (2005) – ADENE – Agência para a Energia; AREAC – Agência Regional de Energia e Ambiente do Centro – Brochura “Energias Renováveis em Meio Urbano”, Miranda do Corvo, editada por: gráfica Mirancorvo, LDA.

AGUIAR, F. (2008) – “ Projecto WaveRoller”, Seminário “Energia dos Oceanos”, Peniche (última consulta: Outubro de 2008):

[http://www.cm-peniche.pt/\\_uploads/SeminarioEnergiaOceanos/DrFilipeAguiarWaveroller.pdf](http://www.cm-peniche.pt/_uploads/SeminarioEnergiaOceanos/DrFilipeAguiarWaveroller.pdf)

AMÉRICO, J. (2008) – “Energias Renováveis”, Revista da Armada nº 421.

AW-ENERGY (2005) – Homepage, (última consulta: Novembro de 2008):

<http://www.aw-energy.com/>

AWS (2008) – Archimedes Wave Swing (última consulta: Outubro de 2008):

<http://www.waveswing.com/>

CHAIENX, M. C. e CHARLIER R. H. – “Women’s tidal power plant Forty candles for Kislaya Guba TPP”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 12 Issue 9, p2515-2524.

CISEPI (2008) – “Ondas” – documento em Word (última consulta: Novembro de 2008):

<https://woc.uc.pt/deec/getFile.do?tipo=2&id=6582>

COELHO (2005) – “Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira”, dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.

CONTINENTAL (2007) – “Electricity from the ocean – an inexhaustible source of power” (última consulta: Novembro de 2008):

[http://www.contitech.de/pages/news/aktuelles/080414\\_aquabuoy\\_en.html](http://www.contitech.de/pages/news/aktuelles/080414_aquabuoy_en.html)



CRES (2002) – “Wave Energy Utilization in Europe: Current Status and Perspectives”, Centre of Renewable Energy Sources, Grécia.

CRUZ, J. M. B.P. e SARMENTO, A. J. N. A. (2004) – “Energia das Ondas – Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Económicos e Ambientais”, MARETEC – Instituto Superior Técnico, WEC – Wave Energy Centre, edição – Instituto do Ambiente, ISBN: 972-8577-11-7.

DECRETO-LEI N.º 5/2008 – Diário da República, 1.ª série - N.º 5 - 8 de Janeiro de 2008.

DOUGLAS, C. A., HARRISON, G. P. e CHICK, J. P. (2008) – “Life cycle assessment of the Seagen marine current turbine”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part M – Journal of Engineering for the Maritime Environment; 2008, Vol. 222 Issue 1, p1-12.

ERDMANN, J. (2007) – “Marine sources to meet energy challenges”, IEC (última consulta: Novembro de 2008):

[http://www.iec.ch/online\\_news/etech/arch\\_2007/etech\\_0907/interv.htm](http://www.iec.ch/online_news/etech/arch_2007/etech_0907/interv.htm)

EHRENMAN, G. (2003) – “Current from Currents”, Mechanical Engineering, Vol. 125 Issue 2, p40.

ENR (2007) – Engineering News-Record, “Devices Exploit Two Kinds of Energy”, Vol. 258 Issue 18, p42.

FALCÃO, A. (2005) – “Energia das Ondas”, Instituto Superior Técnico, Seminário sobre a Física e a Energia, Lisboa, (documento em formato de apresentação).

FELLER, G. (2003) – “Winds, Waves, Tides - Ocean Energy”, EcoWorld (última consulta: Outubro de 2008):

<http://ecoworld.com/features/2003/08/09/winds-waves-tides-ocean-energy/>

FERNANDES, A. (2008) – “Um investimento arriscado mas com grande potencial”, jornal Público, edição de 23 de Setembro.

FOUQUET, D., JOHANSSON, T. B. (2008) – “European renewable energy policy at crossroads—Focus on electricity support mechanisms”, Energy Policy, The International Journal of the Political, Economic, Planning, Environmental and Social Aspects of Energy, ISSN: 0301-4215.

FRAENKEL P. (2003) – “The *Seaflow* Project: Pioneering the Development of Tidal Stream Turbines”, Marine Current Turbines Ltd, ICE London.

GCC (2007) – GREEN CAR CONGRESS, “Finavera Renewables Successfully Deploys and Commissions AquaBuoy 2.0 Wave Energy Converter” (última consulta: Novembro de 2008):

<http://www.greencarcongress.com/2007/09/finavera-renewa.html>

GOMES F. (2007) – “Energia das ondas – a electricidade chega do mar”, Jornal Oeste Online, Registo de título: 124603, edição de 14 de Setembro (última consulta: Fevereiro de 2009):

<http://www.oesteonline.pt/noticias/noticia.asp?nid=17101>

HOLZMAN, D. (2007) – “Blue Power - Turning Tides into Electricity”, Environmental Health Perspectives, Vol. 115, Issue 12.

IEA (2007) – “IMPLEMENTING AGREEMENT ON OCEAN ENERGY SYSTEMS”, IEA – International Energy Agency, relatório anual publicado por IEA-OES Executive Committee, 2000 exemplares.

IH (2008) – Instituto Hidrográfico Português (última consulta: Dezembro de 2008):

<http://www.hidrografico.pt/>

JEFFRIES, E. (2008) – “Ocean Motion Power”, World Watch Magazine, Jul/Aug2008, Vol. 21 Issue 4, p22-27.

KOFOED, J.P., MADSEN E.F., SOERENSEN H.C., LARS C. (2005) “Hydrokinetic Technologies Technical and Environmental Issues, Workshop The WaveDragon case”, Workshop October 26-28, Washington, DC.

LETCHER, T. M. (2008) – “Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet”, edição de Elsevier, ISBN 0080548083, 9780080548081, p376.

LEUNG, C. (2005) – “Catch a Wave”, Canadian Business; Vol. 78 Issue 18, p51-51.

MARQUÉS, J. (2008) – “EVE Activity in Ocean Energy”, documento apresentado na conferência “BWEA Marine 08” em Edimburgo, Reino Unido, 28 de Fevereiro.

MARTINEZ, L. V. (2008) – “NEREIDA MOWC”, *NEWSLETTER* da IEA-OES - Ocean Energy Sytems, publicado por: IEA-OES Executive Committee, ISBN 1645-7811, ISSUE 10.

MENDONÇA, A. (2006) – “Avaliação do Potencial Energético dos Fluxos de Maré no Estuário do Tejo”, Tese de mestrado em Hidráulica e Recursos Híbricos, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

MOORE F. P. e MARTIN L. L. (2007) – “A nonlinear nonconvex minimum total heat transfer area formulation for ocean thermal energy conversion (OTEC) systems”, *Applied Thermal Engineering* Vol. 28, Issues 8-9, p1015-1021.

NEUMANN, F. (2008) – “Estado de arte tecnológico: Energia das ondas e eólica *offshore*”, Seminário sobre energias renováveis marítimas em Portugal, 24 de Novembro.

NG (2005) – National Geographic interactive edition, “Surf Power” (última consulta: Novembro de 2008):

<http://ngm.nationalgeographic.com/ngm/0508/feature1/gallery4.html>

NIHOUS, G. C. (2007) – “An estimate of Atlantic Ocean thermal energy conversion (OTEC) resources”, *Ocean Engineering* Vol. 34, Issues 17 – 18, p2210-2221.

OCS (2008) – “Ocean Wave Energy”, OCS Alternative Energy and Alternate Use Programmatic EIS (última consulta: Novembro de 2008):

<http://ocsenergy.anl.gov/guide/wave/index.cfm>

PALMER, J. (2008) – “The tide is turning”, New Scientist; Vol. 199 Issue 2677, p35-36.

PEDRO (2005) – “As várias energias do oceano – Parte I”, Energias Renováveis, Clean Energy, texto cedido pelo Prof. António Falcão, realizado no âmbito do Fórum “Energias Renováveis em Portugal” (última consulta: Outubro de 2008):

<http://cleanenergy.blogspot.com/2005/01/as-vrias-energias-do-oceano-parte-i-tm.html>

PINTO, L. (2008) – “Portugal quer "cluster" para a energia das ondas”, jornal Público, edição do dia 23 de Setembro.

PLATTS (2008) – “Wave Energy Outlook”, “After slow start, wave energy approaches commercial scales”, fornecedor mundial de informação relativa a energia, artigo desenvolvido em 5 de Agosto (última consulta: Maio de 2009):

<http://www.platts.com/Electric%20Power/Resources/News%20Features/waveenergyoutlook/index.xml>

PONTES, M. T., REBÊLO, L., SILVA, P. e PATA, C. (2005) – “Database of Wave Energy Potential in Portugal”, Proceedings of OMAE05 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Halkidiki, Greece.

PRADO, M. G. S., GARDNER, F., DAMEN, M. e POLINDER, H. (2006) – “Modelling and test results of the Archimedes wave swing”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part A – Power & Energy; Vol. 220 Issue 8, p855-868.

PÚBLICO (2009) – “Parque de energia das ondas parado há 4 meses”, jornal Público, edição do dia 18 de Março.

PUC (2009) – “Sistemas de Produção *offshore*”, certificação digital nº 0312541/CA (última consulta: Março de 2009):

[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0312541\\_05\\_cap\\_02.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0312541_05_cap_02.pdf)

PWP (2008) – Pelamis Wave Power (última consulta: Outubro de 2008):

<http://www.pelamiswave.com/>

REIDY, H. (2007) – “Going with the flow”, Professional Engineering, Vol. 20 Issue 20, p22-23.

REIS, C. S., CARMO, J. A., FREITAS, H. (2008) – “Learning with Nature: A Sand Dune System Case Study (Portugal)”, Journal of Coastal Research, Vol. 24 Issue 6, p1506–1515. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

REUK (2006) – “Archimedes Wave Swing Machines, Find out about the AWS wave power generators” (última consulta: Fevereiro de 2009):

<http://www.reuk.co.uk/Archimedes-Wave-Swing-Machines.htm>

RODRIGUES, L. (2008) – “Wave power conversion systems for electrical energy production”, Departamento de Engenharia Electrónica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

SARMENTO A. (2006) – “Non-technological barriers to wave energy development”, MARETEC – Instituto Superior Técnico, WEC – Wave Energy Centre, Seminar on Challenges for Wave Energy Technology, Trondheim, Norway.

SARMENTO, A., BRITO-MELO, A. e NEUMANN, F. (2006) – “Results From Sea Trials In The OWC European Wave Energy Plant At Pico, Azores”, artigo do congresso em Florença, Itália WREC-IX - World Renewable Energy Congress, Proc. WREC IX, ISBN 008 44671 X.

SMARTPLANET (2008) – “WaveRoller rides the power of undersea waves”, cnet uk Expert Tech Reviews (última consulta: Maio de 2009):

<http://crave.cnet.co.uk/greentech/0,250000598,10001091,00.htm>

SOERENSEN, H. C, (2009) – “Wave energy Scenarios”, European Ocean Energy Association, apresentação feita no Seminário Waveplam, em Bruxelas, 11 de Fevereiro.

SRED (2008) – “SRED aplicado ao aproveitamento da energia das ondas marítimas” (última consulta: Outubro de 2008):

[http://paginas.fe.up.pt/~cjr/Mestrado/Cap\\_2%20-%20SRED%20aplicado%20ao%20aproveitamento%20da%20energia%20das%20ondas%20maritimas%20.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~cjr/Mestrado/Cap_2%20-%20SRED%20aplicado%20ao%20aproveitamento%20da%20energia%20das%20ondas%20maritimas%20.pdf)

STEVENSON (2008) – “Boa vinda a Iconocast”, Inconocast (última consulta: Novembro de 2008):

[http://www.iconocast.com/00001\\_Portu/G1/News4.htm](http://www.iconocast.com/00001_Portu/G1/News4.htm)

STUART, N. (2007) – “New wave - An original method of harnessing wave power using underwater devices claims significant advantages over surface-based systems”, revista “The Engineer”.

TAYLOR, T. (2008) – “Overview Marine Renewable Energy Technologies”, A.K.A. Ocean Energy and Kinetic Hydropower, Verdant Power.

VALÉRIO D., BEIRÃO P., e COSTA J. S. (2007) – “Feedback linearisation control applied to the Archimedes Wave Swing”, Mediterranean Conference on Control and Automation, 27 de Julho, Atenas – Grécia.

VILHENA, M. F. C. D. (2001) – “Caracterização do Funcionamento da Central Tipo C.A.O. da Ilha do Pico, nos Açores, Através do Modelo Numérico de Simulação “Onda - Electricidade”, projecto de termodinâmica aplicada, Instituto Superior Técnico.

WAVEDRAGON (2005) – “Simple and robust construction - complex design” (última consulta: Outubro de 2008):

<http://www.wavedragon.net/index.php>

WAVEDRAGON (2008) – “WaveDragon appoints a Chief Executive” (última consulta: Outubro de 2008):

[http://www.wavedragon.net/index.php?option=com\\_content&task=view&id=42&Itemid](http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid)

WAVENET (2003) – “Results from the work of the European Thematic Network on Wave Energy”, Project funded through the Energy, Environment and Sustainable Development Programme.

WEC (2004) – “Potencial e Estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal”, Relatório elaborado pelo Wave Energy Centre - Centro de Energias das Ondas, p72.

WEC (2006) – “OWC Pico Power Plant”, Wave Energy Centre (última consulta: Maio de 2009):

<http://www.pico-owc.net/>

WEC (2007) – World Energy Council, “Survey of Energy Resources 2007” (última consulta: Outubro de 2008):

[http://www.worldenergy.org/publications/survey\\_of\\_energy\\_resources\\_2007/wave\\_energy/761.asp](http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/wave_energy/761.asp)

WIKIPEDIA (2007) – “Tidal Power”, Wikipedia – The Free Encyclopedia (última consulta: Novembro de 2008):

[http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power)